

Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**COMPORTAMIENTO DE ALFALFA CON DIFERENTES VARIEDADES, FRECUENCIAS
DE DEFOLIACIÓN Y NUTRICIÓN ORGÁNICA**

TESIS QUE PRESENTA:

Jonathan Esau Lázaro Juárez

Como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS

DIRECTOR:

Dr. Yuri Villegas Aparicio

CODIRECTOR:

Dr. Rigoberto Castro Rivera



Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**COMPORTAMIENTO DE ALFALFA CON DIFERENTES VARIEDADES,
FRECUENCIAS DE DEFOLIACIÓN Y NUTRICIÓN ORGÁNICA**

TESIS QUE PRESENTA:

Jonathan Esau Lázaro Juárez

Como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN
AGROECOSISTEMAS**

DIRECTOR:

Dr. Yuri Villegas Aparicio

CODIRECTOR:

Dr. Rigoberto Castro Rivera

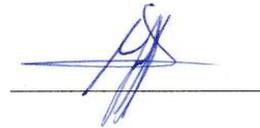


La presente tesis titulada: Comportamiento de alfalfa con diferentes variedades, frecuencias de defoliación y nutrición orgánica fue realizada bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS

DIRECTOR:

Dr. Yuri Villegas Aparicio



CODIRECTOR

Dr. Rigoberto Castro Rivera



ASESOR:

Dr. Aaron Martínez Gutiérrez



ASESOR:

Dr. Vicente Arturo Velasco Velasco



Ex-Hacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca.
Agosto de 2024.

	Nombre de la Información Documentada: Formato Autorización del comité para entrega de tesis.	Código: ITVO-AC-PR-08-02
	Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.2.1, 8.2.2, 8.2.3, 8.5.2	Revisión: 1
		Página 1 de 1

EXPEDIENTE: 20DJT0009G
 No. DE OFICIO: DEPI/0701/2024
 Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca: 20/Junio/2024
 ASUNTO: Autorización del comité para entrega de Tesis.

C. JONATHAN ESAÚ LÁZARO JUÁREZ
ESTUDIANTE DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS
P R E S E N T E

Los que suscriben, miembros de su Comité Tutorial, le comunicamos que hemos revisado el contenido de su tesis "Comportamiento de alfalfa con diferentes variedades, frecuencias de foliación y nutrición orgánica". Por lo que con base en los lineamientos para la Operación de Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México se le otorga la **AUTORIZACIÓN** para que proceda a la entrega del documento final de la misma en formato digital (PDF); para continuar con su trámite y asignarle la fecha de su examen de grado.

Sin más por el momento nos permitimos reconocer su esfuerzo y felicitarle por el logro de su documento de tesis.

ATENTAMENTE

*Excelencia en Educación Tecnológica®.
 Ciencia y Tecnología para el Campo*

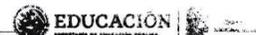

YURI VILLEGAS APARICIO
DIRECTOR DE TESIS


AARÓN MARTÍNEZ GUTIÉRREZ
ASESOR


RIGOBERTO CASTRO RIVERA
CO-DIRECTOR


VICENTE ARTURO VELASCO VELASCO
ASESOR


YURI VILLEGAS APARICIO
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

C.p. Comité Tutorial.
 Expediente.
 YVA/mglh

	Nombre de la Información Documentada: Formato Autorización de DEPI para entrega de Tesis.	Código: ITVO-AC-PR-08-03
	Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.2.1, 8.2.2, 8.2.3, 8.5.2	Revisión: 1
		Página 1 de 1

EXPEDIENTE: 20DIT0009C
No. DE OFICIO: DEPI/0710/2024
 Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca: 25/Junio/2024
ASUNTO: Autorización de entrega de Tesis.

C. JONATHAN ESAU LÁZARO JUÁREZ
ESTUDIANTE DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS
P R E S E N T E

Con base en los Lineamientos para la Operación de Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México, respecto a la presentación del examen de grado, me es muy grato comunicarle que esta División de Estudios de Posgrado e Investigación a mi cargo, **AUTORIZA** la entrega del documento final de su tesis en formato digital (PDF) titulada: **"Comportamiento de alfalfa con diferentes variedades, frecuencias de foliación y nutrición orgánica"**.

Cuyo contenido ha sido revisado y aprobado por su Comité Tutorial y cumple en lo general con el formato establecido para este documento, como requisito parcial para obtener el grado de Maestra en Ciencias en Productividad de Agroecosistemas.

Sin más por el momento le felicito cordialmente por el logro de esta meta y le reitero el respaldo institucional de su Alma Mater.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
Ciencia y Tecnología para el Campo


DR. YURI VILLEGAS APARICIO
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN

 **EDUCACIÓN**
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
 **INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL VALLE DE OAXACA**
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN

C.p. Expediente.
 Alumno interesado.
 YVA/mglh

ITVO-AC-PR-08-03

Toda copia en PAPEL es un "Documento No Controlado" a excepción del original

REV.1

El presente trabajo se llevó a cabo con el apoyo del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), a través del número de becario (1238839), con el tema de investigación: Comportamiento de alfalfa con diferentes variedades, frecuencias de defoliación y nutrición orgánica.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	ix
SUMMARY	x
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	11
1.1 Objetivos	12
1.2 Hipótesis.....	13
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	14
2.1 Morfología de la planta.....	14
2.2 Requerimientos edafoclimáticos.....	15
2.3 Fenología del cultivo	16
2.3.1 Curvas de crecimiento	16
2.3.2. Estacionalidad	17
2.4 Manejo de la cosecha.....	18
2.5 Variedades en México	18
2.6 Importancia de la nutrición vegetal.....	19

2.6.1 Fertilización foliar	19
2.6.2 Extractos de algas	20
2.6.3 Guano de murciélago.....	20
2.7 Espectroscopia por Infrarrojo Medio.....	21
2.7.1 Variables nutricionales y longitudes de onda de interés	23
CAPITULO III RENDIMIENTO DE DISTINTAS VARIEDADES DE ALFALFA BAJO DOS FRECUENCIAS DE CORTE EN EL VALLE DE OAXACA	26
RESUMEN.....	27
ABSTRAC.....	28
3.1 INTRODUCCIÓN.....	29
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
3.4 CONCLUSIÓN	49
3.5 REFERENCIAS	50
CAPÍTULO IV RENDIMIENTO Y EVALUACIÓN DE COMPONENTES ESTRUCTURALES DE VARIEDADES DE ALFALFA EMPLEANDO FTIR....	53

RESUMEN.....	54
ABSTRAC.....	55
4.1 INTRODUCCIÓN.....	56
4.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	58
4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	63
4.4 CONCLUSIÓN.....	82
4.5 REFERENCIAS.....	83
CAPÍTULO V CONCLUSIONES GENERALES.....	86
CAPÍTULO VI RECOMENDACIONES.....	88
CAPÍTULO VII BIBLIOGRAFÍA GENERAL.....	89

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Requerimientos de macro y microelementos de la alfalfa.....	12
2	Prueba de medias y análisis factorial para las variables de rendimiento de forraje.....	32
3	Temperatura promedio, precipitación, humedad relativa y velocidad del viento acumulados mensualmente durante los meses del 2023.....	55
4	Fertilizantes comerciales empleados y su composición química.....	57
5	ANOVA por factores y su interacción con el rendimiento de forraje en MS, altura y relación H:T.....	60
6	Análisis factorial y prueba de medias por Tukey para las variables de rendimiento.....	61
7	ANOVA por factores y su interacción con las variables nutricionales.....	70

8	Análisis factorial y prueba de medias por Tukey para las variables nutricionales.....	71
9	Prueba de medias por Tukey por variedad, para las variables nutricionales y su interacción con la fertilización y frecuencias de corte.....	72
10	Prueba de medias por Tukey por variedad, para las variables nutricionales y su interacción con la fertilización y frecuencias de corte.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página.
1	Relación entre el estado de crecimiento y valor nutritivo de la alfalfa.....	14
2	Temperatura máxima, promedio, mínima y precipitación acumulada mensual durante la primavera y verano del 2023.....	30
3	Rendimiento de materia seca acumulada por variedad bajo dos estaciones y distintos esquemas de corte.....	34
4	Variación en la composición morfológica (%) de las variedades de alfalfa.....	40
5	Variación en la composición botánica (%) de la pradera en las variedades de alfalfa	43

6	Esquema de espectro de onda, en el cual se localizan los principales picos de absorbancia de IR, para las biomoléculas de interés.....	59
7	Correlación de Pearson, entre variables de rendimiento y nutricionales.....	67

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar el rendimiento de distintas variedades de alfalfa bajo dos frecuencias de defoliación, en dos estaciones del año y fertilización orgánica. Se establecieron dos experimentos independientes con diseños completamente aleatorizados y arreglo factorial 5x2x2 y 5x3x2. Se evaluó: altura, rendimiento de materia seca (RMS), índice de área foliar (IAF), composición morfológica (CM), composición botánica (CB), relación hoja:tallo (H:T) y tasa de crecimiento (TC) ; también, variables nutricionales como amidas, lignina celulosa y hemicelulosa. Se realizó un análisis factorial ANOVA y una prueba de sensibilidad de medias mediante la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$). Las variedades San Miguel y Oaxaca presentaron mayor altura, RMS, TC, relación H:T e IAF, así como una mayor presencia de amidas; En el verano se presentó un mayor RMS, TC, altura e IAF; en primavera la relación H:T fue superior. Con cortes ligeros o cada 4 semanas se incrementó la TC, la relación H:T y las amidas, por el contrario con cortes severos cada 5 semanas, el RMS, la altura, el IAF, la lignina, celulosa y hemicelulosa fueron superiores. Independientemente de la variedad y estación, el porcentaje de hojas en la CM fue superior con un corte ligero, la CB presentó una mayor presencia de alfalfa con cortes severos. El extracto de guano de murciélago aplicado vía foliar, incrementó en promedio 15% el RMS, la altura, la relación H:T, amidas y celulosa. Los intervalos entre cortes determinaron el rendimiento, morfología y los componentes nutricionales de la alfalfa.

Palabras clave: *Medicago sativa*, materia seca, calidad nutricional, frecuencia de cortes, fertilización orgánica.

SUMMARY

The objective of the research was to evaluate the yield of different alfalfa varieties under two defoliation frequencies, in two seasons of the year and organic fertilization. Two independent experiments were established with completely randomized designs and 5x2x2 and 5x3x2 factorial arrangement. The following variables were evaluated: height, dry matter yield (DMY), leaf area index (LAI), morphological composition (MC), botanical composition (BC), leaf:stem ratio (L:S) and growth rate (GR); also, nutritional variables such as amides, lignin, cellulose and hemicellulose. An ANOVA factorial analysis and a mean sensitivity test were performed using Tukey's test ($\alpha=0.05$). The San Miguel and Oaxaca varieties presented greater height, DMY, GR, L:S ratio and LAI, as well as a greater presence of amides; In summer, greater DMY, GR, height and LAI were presented; in spring the L:S ratio was higher. With light cuts or every 4 weeks, GR, L:S ratio and amides increased; on the contrary, with severe cuts every 5 weeks, DMY, height, LAI, lignin, cellulose and hemicellulose were higher. Regardless of variety and season, the percentage of leaves in the MC was higher with a light cut, the BC presented a greater presence of alfalfa with severe cuts. Bat guano extract applied spray foliar, increased on average 15% the DMY, height, L:S ratio, amides and cellulose. Inter-cutting intervals determined alfalfa yield, morphology and nutritional components.

Index words: *Medicago sativa*, dry matter, nutritional quality, cutting frequency, organic fertilization.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

La leguminosa forrajera mayormente cultivada en México, es la alfalfa (*Medicago sativa* L.), su importancia radica en su alto valor nutricional (proteína y fibra digestible) y gran cantidad de biomasa obtenida por unidad de superficie cultivada, estas cualidades han permitido mejorar parámetros productivos en los sistemas ganaderos (Álvarez-Vázquez et al., 2023; Bhandari et al., 2023).

El cultivo de alfalfa presenta un rendimiento estacional, incrementando su crecimiento y acumulación de biomasa durante las estaciones más cálidas (primavera-verano), evaluar esta respuesta de los genotipos forrajeros existentes, es primordial para establecer intervalos de corte que permitan maximizar el rendimiento y calidad de cultivo. Actualmente, la agricultura enfrenta un gran obstáculo, ya que debe incrementar el rendimiento de los forrajes, pero sin ejercer una repercusión negativa sobre el medio ambiente (Ampong et al., 2022; Kumari et al., 2022; Soares et al., 2019).

Una alternativa, ha esta problemática es la utilización de fertilizantes orgánicos obtenidos a partir de residuos vegetales o animales (Marwa et al., 2021; Shah et al., 2018; Kumar et al., 2019) estos fertilizantes, pueden ser aplicados vía aspersión foliar, el cual ha demostrado ser un método eficiente de aplicación en etapas específicas de las plantas (Telles De Moura et al., 2023; Niu et al., 2021).

La combinación de fertilizantes orgánicos y su aplicación foliar permite incrementar el rendimiento y calidad de las cosechas (Robe & Barberon, 2023; Bawya et al., 2022; Verma et al., 2021).

Para evaluar la calidad nutricional de la alfalfa, actualmente existen técnicas rápidas, efectivas y precisas que emplean la luz del infrarrojo medio (IR), la cual permite detectar y observar la presencia de compuestos de interés como proteínas, lignina y carbohidratos que inciden en la calidad y digestibilidad del forraje (Brown et al., 2024; Karunakaran et al., 2020; Barraza-Garza et al., 2013).

1.1 Objetivos

General

Evaluar los componentes del rendimiento de distintas variedades de alfalfa bajo frecuencias de defoliación definidas y fertilización orgánica.

Específicos

Evaluar el rendimiento de variedades de alfalfa bajo frecuencias de defoliación definidas, durante el periodo primavera-verano.

Evaluar el efecto de fertilizantes orgánicos aplicados vía foliar en el rendimiento y calidad nutritiva de variedades de alfalfa bajo dos esquemas de corte.

1.2 Hipótesis

Las variedades de alfalfa San Miguel y Oaxaca tendrán mayor rendimiento productivo bajo frecuencias de corte severas durante la primavera.

La dosis de fertilizante a base de algas marinas promoverá el crecimiento, rendimiento y calidad nutricional en las variedades San Miguel, Victoria y Oaxaca bajo una frecuencia de corte severa.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 Morfología de la planta

Las hojas se desarrollan a partir de las yemas laterales, en el tallo surgen del ápice en forma alternada con el peciolo central de mayor longitud, con formas trifoliadas, ovals y alargadas, presentándose en tonos de color verde (Basigalup, 2022; Lloveras et al., 2020). El tallo principal se ramifica, dando lugar a tallos primarios, secundarios y terciarios, el número de tallos dependerá del vigor y la edad de la planta (Lloveras et al., 2020). La corona se ubica en la unión entre la parte aérea y la raíz, este último junto con la corona son los principales almacenes de sustancias de reserva en la planta y es el lugar a partir del cual se producirán nuevos rebrotes (Lloveras et al., 2020; Teixeira et al., 2007).

2.2 Requerimientos edafoclimáticos

El rendimiento de MS y la concentración de nutrientes en la alfalfa dependerá de las condiciones fisicoquímicas del suelo (Flórez-Delgado, 2015), siendo las deficiencias de fósforo (P), azufre (S), Potasio (K) calcio (Ca) y el boro (B), las que condicionen el comportamiento productivo y persistencia del cultivo (Basigalup, 2022; Lloveras et al., 2020). En el Cuadro 1 se muestran los requerimientos de nutrientes.

La alfalfa se establece en altitudes comprendidas entre 700 y 4000 m, con un rango de temperatura en el día entre los 15 a 30 °C y durante la noche de 10 a 20 °C, requiere suelos profundos (>2 m) con pH 6.5 a 7.5, bien aireados, con capas permeables que permitan la penetración de las raíces, bien drenados y con disponibilidad de agua, presenta tolerancia moderada a la salinidad (Santiago-Kent, 2019; Flórez-Delgado, 2015).

Cuadro 1. Requerimientos de macro y microelementos de la alfalfa.

Macronutrientes	Requerimientos		g t ⁻¹
	kg t ⁻¹	Micronutrientes	
Nitrógeno	28.0*	Boro	2.7
Potasio	22.0	Manganeso	2.5
Calcio	12.0	Zinc	1.5
Azufre	3.8	Cobre	0.7
Magnesio	3.0	Molibdeno	0.5
Fósforo	2.8		

Fuente: Basihalup, 2022.

2.3 Fenología del cultivo

Considerar el estado fenológico en el que se realiza el corte, determinará la calidad nutricional de la cosecha (Basigalup, 2022), la alfalfa se recomienda cortar, cuando surgen los primeros botones florales con esto se obtiene una mejor calidad, para un mayor rendimiento se cosecha con el 10% de la floración, los estados fenológicos se observan en la Figura 1. Cosechar plantas en estado vegetativo y con presencia de botones florales, otorgara una mejor relación hoja/tallo, mayor porcentaje de proteína bruta (PB), mayor digestibilidad y una menor concentración de fibra (lignina) incrementando la calidad nutricional, al avanzar la edad de la planta se incrementa la presencia de fibra, esto se debe a la proporción de tallos empieza a ser mayor que las hojas (Bhandari et al., 2023; Basigalup, 2022; Santiago-Kent, 2019).

2.3.1 Curvas de crecimiento

La alfalfa presenta cambios morfológicos y en la calidad nutricional conforme avanza su estado de madurez (Tlahig et al., 2024; Bhandari et al., 2023; Mendoza, et al., 2018), estos cambios son determinados por la temperatura que modifica la tasa de crecimiento de las plantas (Zaka et al., 2017; Hernández et al., 2012; Teixeira et al., 2007) por lo cual, la dinámica de acumulación de biomasa será diferente por estación (Gaytán et al., 2019; Castro et al., 2012; Villegas-Aparicio et al., 2006). Considerar estos aspectos, permitirá establecer las frecuencias de cortes basadas en al estado fenológico del cultivo, para obtener un buen rendimiento y forraje de alta calidad (Mendoza et al., 2018).

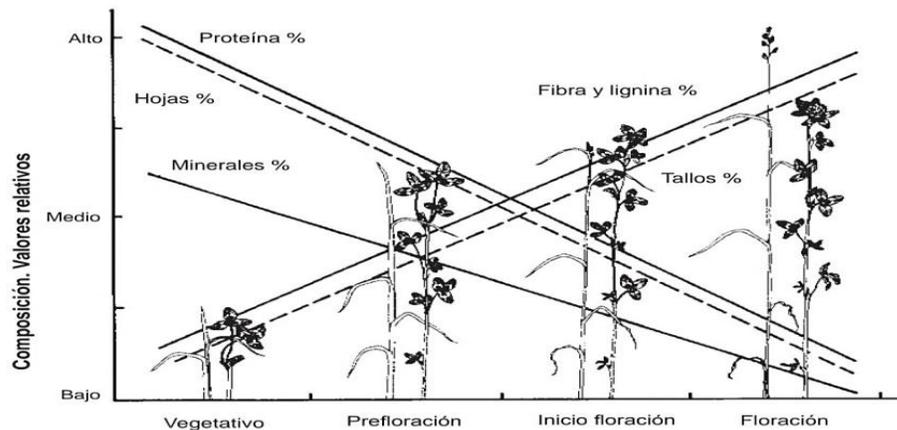


Figura 1. Relación entre el estado de crecimiento y valor nutritivo de alfalfa. Fuente: (Yzarra & López 2017).

2.3.2. Estacionalidad

Las condiciones climáticas presentes en cada estación del año modifican el crecimiento y rendimiento de la alfalfa (Santiago-Kent, 2019; Montes et al., 2016). En México, Álvarez-Vázquez et al., (2023), Rivas et al., (2020), Sánchez et al., (2019), Rojas et al., (2019) Montes et al., (2016) y Villegas-Aparicio et al., (2006) coinciden en que las variedades cultivadas en el país presentan un grado de estacionalidad, debido a que la velocidad de crecimiento y rendimiento de la alfalfa es mayor en el periodo de primavera-verano hasta un 60-70% y menor en otoño-invierno. En la región del valle de Oaxaca Montes et al., (2016) y Villegas-Aparicio et al., (2006) registraron mayor acumulación de biomasa y rendimiento en la estación de primavera; por el contrario, en el altiplano mexicano; Álvarez-Vázquez et al., (2023), Rivas et al., (2020), Rojas et al., (2019) y Mendoza et al., (2010) en el verano.

2.4 Manejo de la cosecha

Un correcto manejo de la cosecha de alfalfa involucra tres criterios, los cuales tienen como objetivo lograr un equilibrio entre producción, calidad y persistencia del cultivo. 1) Frecuencia de defoliación o corte: indica el tiempo transcurrido entre cortes, este se establece con base al estado de fenológico de la planta, la estación, variedad empleada, condiciones edafoclimáticas, latencia y objetivo del aprovechamiento; siendo una FC ligera aquella que otorga mayor periodo de descanso a la pradera y severa aquella que ofrece un periodo mínimo de 30 días de descanso. 2) Intensidad: mide la cantidad, severidad y la uniformidad de biomasa retirada. Se sugiere dejar un mínimo de 5 cm de altura de los tallos, de esta forma amortiguamos el estrés por la defoliación y permitimos un desarrollo óptimo de los rebrotes en la corona. 3) Momento: relación entre el estado fenológico de la planta y la época de corte. Se sugiere realizar el corte cuando se observe en el cultivo un estado próximo al 10% de floración (Basigalup, 2022; Lloveras et al., 2020; Santiago-Kent, 2019).

2.5 Variedades en México

Las variedades de alfalfa responden a las condiciones climáticas del sitio, principalmente a la temperatura, precipitación y horas luz esto determinará la distribución estacional del rendimiento y calidad del forraje (Tlahig et al., 2024; Zaka et al., 2017; Castro et al., 2012; Teixeira et al., 2007), esta variabilidad genética ha favorecido la adaptación de la alfalfa a las diferentes condiciones climáticas del país, dando lugar a diversos calendarios de manejo con

repercusiones económicas, de rendimiento y valor nutricional (Hoppen et al., 2022; Luna et al., 2018).

Las semillas a emplear deben producir forraje de buena calidad y permitir el incremento de la frecuencia de defoliación al alcanzar una envergadura óptima al momento del corte con un buen contenido nutricional y además resistencia a plagas o enfermedades (Basigalup, 2022; Hoppen et al., 2022; Luna et al., 2018).

2.6 Importancia de la nutrición vegetal

Las plantas necesitan nutrientes para un crecimiento-desarrollo óptimo, estos elementos son constituyentes esenciales de enzimas, coenzimas además de participar en diversos procesos del metabolismo celular (Robe & Barberon, 2023; Elbasiouny et al., 2022; Soares et al., 2019). El crecimiento y desarrollo de las plantas se ve afectado por la carencia o no disponibilidad de estos elementos en el suelo o sustrato más condiciones climatológicas adversas (Elbasiouny et al., 2022; Kumari et al., 2022; Toor, 2021).

2.6.1 Fertilización foliar

Este método suministra directamente los nutrientes en las hojas de la planta en cantidades controladas y en un período específico del crecimiento, contribuyendo a una mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes, reduciendo las afectaciones sobre el suelo, medio ambiente y salud de los consumidores (Bawya et al., 2021; Niu et al., 2021). Se ha reportado que empleando esta vía, se reduce el impacto de los factores de estrés bióticos y abióticos, además se aumenta la eficiencia de la clorofila y se mejora el contenido nutricional de hojas, frutos y semillas (Telles De Moura et al., 2023; Niu et al., 2021).

La respuesta en las plantas obedecerá al efecto sinérgico de los componentes presentes del fertilizante, estado fenológico, condiciones climáticas y la forma de aplicación; específicamente, la aplicación foliar incrementa el crecimiento vegetativo por lo cual se incrementa el rendimiento y mejora la calidad de la cosecha (López-Padrón et al., 2020; Shah et al., 2018).

2.6.2 Extractos de algas

Los extractos algas marinas incluyen macro y micronutrientes (nitrógeno, potasio calcio, fósforo, hierro, bario, magnesio, yodo, cobalto, magnesio, níquel, boro, cobre, zinc, manganeso y molibdeno), reguladores del crecimiento vegetal (Giberelinas, ácido abscísico, citocininas, auxinas y citocininas), polisacáridos, aminoácidos, compuestos antioxidantes, biotoxinas, enzimas, vitaminas, clorofilas, carotenos y materia orgánica. (Telles De Moura et al., 2023; Verma et al., 2021; López-Padrón et al., 2020). Estas sustancias mejoran los procesos metabólicos relacionados con la absorción de nutrientes, crecimiento, desarrollo de tallos, en las plantas contribuyen a una mayor área foliar, flores o frutos vigorosos así también fortalece el sistema radicular; además, mejoran la tolerancia de las plantas a factores de estrés; en el suelo mejoran la calidad orgánica y nutricional (Bawya et al., 2022; Verma et al., 2021; López-Padrón et al., 2020).

2.6.3 Guano de murciélago

El guano de murciélago ha sido ampliamente empleado como fertilizante en la agricultura (Ampong et al., 2022; Sakoui et al., 2020), es aplicado directamente en el suelo o vía foliar (Marwa et al., 2021). El lixiviado de guano contiene

fosfatos, sulfatos de potasio, amoníaco, sodio, calcio, sodio, cloro, azufre, aluminio, hierro, silicio, magnesio, ácido úrico, oxálico y fosfórico, así como microorganismos (Karimou et al., 2020; Sakoui et al., 2020; Kumar et al., 2019). Su composición variara de acuerdo a la especie, edad y hábitos alimenticios de los murciélagos, así como a características del sitio de recolección, como la profundidad de la cueva, tipo de suelo o rocas presentes y humedad (Sakoui et al., 2020). La aplicación de guano en cultivos ha demostrado incrementar la altura, el área foliar, frutos por planta y rendimiento (Ampong et al., 2022; Karimou et al., 2020) en algunas plantas se ha incrementado el contenido de nitrógeno y nutrientes, estas respuestas podrían deberse al alto contenido nitrógeno y fosforo (Marwa et al., 2021).

2.7 Espectroscopia por Infrarrojo Medio

La Espectroscopia infrarroja (IR) es una técnica analítica basada en la interacción de la luz infrarroja sobre los átomos de los enlaces químicos de las biomoléculas presentes (Karunakaran et al., 2020). La radiación es absorbida cuando la onda electromagnética empleada es la misma que la del enlace, ocurriendo cambios vibratorios de flexión y tensión (Türker-Kaya & Huck, 2017; Barraza-Garza et al., 2013). Esta absorción es traducida por los equipos de espectroscopia y se representa en forma de picos de absorbancia, donde la magnitud de cada banda corresponderá al número de moléculas específicas presentes en la muestra (Shi et al., 2019; Cleland et al., 2018; Barraza-Garza et al., 2013).

La región del infrarrojo medio se encuentra entre 4000 a 400 cm^{-1} , con una longitud de onda de 2.5 a 25 micrómetros, en ella se observan las vibraciones de

la mayoría de las biomoléculas de interés forrajero (Karunakaran et al., 2020). La Espectroscopia de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR) ejerce un análisis bioquímico empleando el infrarrojo medio sobre los componentes celulares (Barraza-Garza et al., 2013). Esta región se divide en cuatro subregiones 1) estiramiento de un solo enlace ($4000-2500\text{ cm}^{-1}$), estiramiento de triples enlaces ($2500-2000\text{ cm}^{-1}$), estiramientos de dobles enlaces ($2000-1500\text{ cm}^{-1}$) y por último la zona de la huella digital ($1500-400\text{ cm}^{-1}$, Türker-Kaya & Huck, 2017).

Bajo esta región se puede identificar y caracterizar la composición química cualitativamente de los constituyentes de la pared celular vegetal (hemicelulosa, celulosa, pectinas y lignina), contenido nutricional (proteínas, carbohidratos, lípidos y lignina) y compuestos aromáticos en semillas, hojas, tallos, flores, granos y frutos (Brown et al., 2024; Javier-Astete et al., 2021; Türker-Kaya & Huck, 2017; Ji et al., 2016), así también para diagnosticar enfermedades (Türker-Kaya & Huck, 2017). Estos compuestos tienen picos de absorción asignados, variando ligeramente por el tipo de propiedades de la muestra (Barraza-Garza et al., 2013). Las proteínas y carbohidratos son difícilmente cuantificados por separado, ya que estos se encuentran unidos fuertemente a otros componentes de la pared celular, pero pueden ser localizados por sus huellas particulares en los espectros de onda (Shi et al., 2019; Lei et al., 2018; Ji et al., 2016).

Esta técnica ha demostrado poseer ventajas sobre los métodos químicos ya que es un método rápido y con precisión en la identificación de las moléculas químicas (Javier-Astete et al., 2021; Cleland et al., 2018), disminuyendo la pérdida de información estructural debido a las digestiones químicas o físicas

(Brown et al 2024; Türker-Kaya & Huck, 2017), el análisis se realiza con una preparación mínima de las muestras y se pueden determinar diversos componentes de forma simultánea (Karunakaran et al., 2020). Existe una relación lineal entre el nivel de absorbancia y la concentración del compuesto, lo cual permite hacer una inferencia cuantitativa de la cantidad del compuesto (Cleland et al 2018; Türker-Kaya & Huck, 2017).

2.7.1 Variables nutricionales y longitudes de onda de interés

Las amidas constituyen los enlaces (-CO-NH-) que unen a dos aminoácidos, considerando a esta biomolécula la porción proteica del forraje y el principal indicador de calidad (Shi et al., 2019; Lei et al., 2018; Ji et al., 2016). La digestibilidad de un forraje dependerá de los contenidos de lignina, celulosa y hemicelulosa, estas últimas son moléculas parcialmente digestibles y la lignina altamente indigestible, estas tres moléculas presentan una fuerte interacción en la pared celular de los forrajes (Brown et al., 2024; Bhandari et al., 2023; Shi et al., 2019). Por medio del FTRI es posible determinar de forma individual estas moléculas y con esto estimar la digestibilidad de las hojas de alfalfa.

La técnica de FTIR ha sido ampliamente utilizada por Brown et al., (2024), Shi et al., (2019) y Türker-Kaya & Huck, (2017) con modelos de validación aceptables como el mínimo de cuadrados parciales ($r > 0.8$) para predecir la composición química de la pared celular, su relación con la FDN y FDN no digerible (iNDF) así como la digestibilidad de los nutrientes en diversos forrajes; en alfalfa, existen diversos estudios realizados para determinar la presencia del grupo amidas como los de Lei et al., (2018) y Ji et al., (2016), así como lignina, celulosa y hemicelulosa

por Casassa-Padrón et al., (2022), Javier-Astete et al., (2021) y López-Malvar et al., (2021).

En los espectros FTIR se observan picos de absorción de la luz infrarroja, esto ocurre por los movimientos de flexión o tensión de los enlaces de las amidas, lignina, celulosa y hemicelulosa, la altura o intensidad del pico presentado se considera como la presencia cualitativa de la molécula de interés y su cuantificación se obtiene del nivel de absorbancia presentado en la longitud de banda de interés (Casassa-Padrón et al., 2022; Javier-Astete et al., 2021; López-Malvar et al., 2021; Lei et al., 2018; Türker-Kaya & Huck, 2017). A continuación, se describen las zonas de interés:

Amidas

Los picos localizados en 1601 y 1540 cm^{-1} corresponden a oscilaciones de proteínas, específicamente de las vibraciones de estiramiento N–H y C–N de la amida I y II respectivamente (Lei et al., 2018; Türker-Kaya & Huck, 2017; Ji et al., 2016).

Lignina

Los picos ubicados en 1519 y 1240 cm^{-1} pertenecen a oscilaciones de los esqueletos aromáticos de lignina tipo Siringilo y estiramiento de los enlaces C-O de los anillos guayacilo (Casassa-Padrón et al., 2022; López-Malvar et al., 2021; Türker-Kaya & Huck, 2017).

Celulosa

Los picos observados en 1316 y 1149 cm^{-1} corresponden al doblamiento de los enlaces C-H y estiramiento de los enlaces C-O-C (Casassa-Padrón et al., 2022; Javier-Astete et al., 2021; Türker-Kaya & Huck, 2017).

Hemicelulosa

Los picos observados en 1730 y 1370 cm^{-1} pertenecen al estiramiento de enlaces O=H (Casassa-Padrón et al., 2022; Javier-Astete et al., 2021; Türker-Kaya & Huck, 2017).

CAPITULO III
RENDIMIENTO DE DISTINTAS VARIETADES DE ALFALFA BAJO DOS
FRECUENCIAS DE CORTE EN EL VALLE DE OAXACA

YIELDS OF FIVE ALFALFA VARIETIES UNDER TWO CUTTING
FREQUENCIES IN THE OAXACA VALLEY

RESUMEN

El objetivo fue evaluar cómo diferentes variedades de alfalfa respondieron a frecuencias específicas de corte durante la temporada de primavera-verano. Se empleó un diseño completamente aleatorizado, con arreglo factorial 5x2x2, los factores fueron: variedades, estaciones del año y frecuencias de corte (FC), con 20 tratamientos y 3 repeticiones. Las variables contempladas fueron altura, rendimiento de materia seca (RMS), índice de área foliar (IAF), tasa de crecimiento (TC), relación hoja:tallo (RH:T) y composición morfológica (CM) y botánica (CB). Se efectuó un análisis factorial ANOVA y una prueba de sensibilidad de medias mediante la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$), empleando el paquete estadístico SAS. La variedad San Miguel presentó el mayor RMS (2150 kg MS ha⁻¹) y altura (31 cm). Con una FC ligera (35 d) se obtuvo un mayor rendimiento (1256 kg MS ha⁻¹), altura (29 cm) e IAF (3.3), la FC severa benefició la TC (71 kg MS ha⁻¹d⁻¹) y RH:T (1.07). En verano el rendimiento y la TC fue superior (2280 kg MS ha⁻¹ y 73 kg MS ha⁻¹d⁻¹), en primavera se manifestó una mayor proporción de hoja (1.05). Independientemente de la variedad y la estación, la CM presentó un mayor porcentaje de hojas y tallos con un corte ligero; por su parte, la CB generó una mayor presencia de alfalfa con un corte severo durante la primavera. La frecuencia de corte determinó el rendimiento del cultivo, su interacción con la estación influyó en gran medida la proporción de los componentes morfológicos y botánicos en la pradera.

Palabras clave: *Medicago sativa*, defoliación, materia seca, primavera-verano, genotipos

ABSTRAC

The objective was to evaluate how different alfalfa varieties responded to specific cutting frequencies during the spring-summer season. A completely randomized design was used, with a 5x2x2 factorial arrangement, the factors were varieties, seasons and cutting frequencies (CF), for a total of 20 treatments with 3 replications. The variables evaluated were height, dry matter yield (DMY), leaf area index (LAI), leaf:stem ratio (RL/S), growth rate (GR) as well as morphological composition (MC) and botanical composition (BC). An ANOVA factorial analysis and a mean sensitivity test were using Tukey's test ($\alpha=0.05$), using the SAS statistical package. The San Miguel variety had the highest DMY (2150 kg DM ha⁻¹) and height (31 cm). With a light CF (35 d), a higher DMY (1256 kg DM ha⁻¹), height (29 cm) and LAI (3.3) were obtained, the severe FC benefited GR (71 kg MS ha⁻¹d⁻¹) and the RL/S (1.07). In summer the DMY and GR was higher (2280 kg DM ha⁻¹ y 73 kg DM ha⁻¹d⁻¹), in spring there was a higher RL/S (1.05). Independently of variety and season, the MC presented a higher percentage of leaves and stems with a light cutting, while the BC presented a greater presence of alfalfa with a severe cutting during spring. The frequency of cutting determined the yield of the crop, its interaction with the season influenced to a great extent the proportion of the morphological and botanical components in the pasture.

Index words: *Medicago sativa*, defoliation, dry matter, spring-summer, genotypes

3.1 INTRODUCCIÓN

Un forraje fundamental en los sistemas agropecuarios es la alfalfa (*Medicago sativa L.*), esto se debe a su elevado rendimiento anual, calidad nutrimental, amplia persistencia y tolerancia a condiciones edafoclimáticas, así como versatilidad para ser suministrada a los animales en fresco o conservada (Mendoza et al., 2010; Rojas-García, et al., 2017; Rivas et al., 2020). Durante la primavera y verano las praderas de alfalfa tienen un mejor comportamiento en la acumulación de biomasa, tasa de crecimiento, altura, e índice de área foliar (Villegas et al., 2004; Luna et al., 2018; Álvarez-Vázquez et al., 2023). Durante estas estaciones, las condiciones climáticas como la temperatura, precipitaciones y el fotoperiodo favorecen de manera óptima el crecimiento y desarrollo de la alfalfa (Teixeira et al., 2008; Hernández et al., 2012; Zaka et al., 2017), entender el cambio estacional en la velocidad de crecimiento de las diferentes especies forrajeras permitirá acortar los lapsos entre cortes (Rivas et al., 2020; Pedroza et al., 2024). Siendo los intervalos entre cortes o defoliaciones de 4 y 5 semanas los que mejor comportamiento han demostrado para el valle de Oaxaca (Villegas et al., 2004; Montes et al., 2016), en el altiplano (Mendoza et al., 2010; Gaytán et al., 2019) y norte de México (Álvarez-Vázquez et al., 2023) favoreciendo la persistencia, calidad y rendimiento de las praderas de alfalfa.

Evaluar la respuesta de variedades de alfalfa al manejo del corte y las condiciones ambientales del lugar, permitirá seleccionar potenciales genotipos para el establecimiento en el valle de Oaxaca (Luna et al., 2018; Pedroza et al., 2024). El objetivo de la investigación fue evaluar cómo diferentes variedades de alfalfa respondieron a frecuencias específicas de corte durante la temporada de primavera-verano.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó durante la época primavera-verano del 2023 en el Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO), Xoxocotlán, Oaxaca (17° 01' 20.40" LN y 96° 44' 51.50 "LO), a 1530 m con clima semiárido cálido con lluvias en verano (García, 2004). El suelo presentó una textura franco-arenosa con un pH de 7.55 y 1.25 % de materia orgánica. El registro de la temperatura y precipitaciones del 2023 se obtuvieron de la base de datos POWER Data Access Viewer proporcionados por la NASA, (2024), se observa en la Figura 2. Durante el 14 y 19 de abril del 2023 se presentaron dos fuertes granizadas ocasionadas por el frente frío N° 48 y 49 (CONAGUA, 2023).

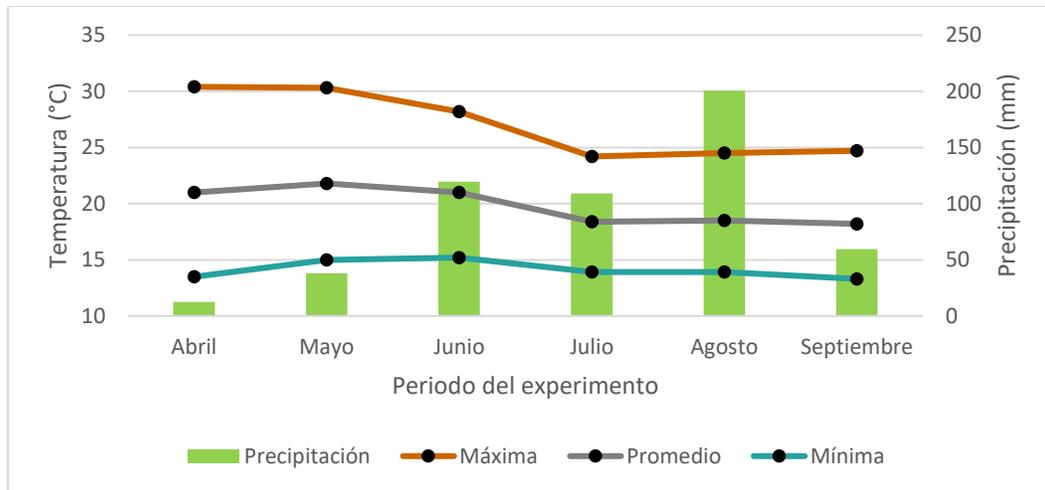


Figura 2 Temperatura máxima, promedio, mínima y precipitación acumulada mensual durante la primavera y verano del 2023.

Establecimiento y diseño experimental

La siembra se realizó en diciembre del 2022, utilizando semilla viable con un porcentaje de germinación promedio de 92 % y una densidad de 30 kg ha⁻¹ de semillas, establecidas en parcelas de 42 m² por variedad de alfalfa, los riegos se aplicaron cada 15 días, no se empleó algún tipo fertilización ni agroquímicos para control de plagas o malezas. Se empleó un diseño completamente aleatorizado, con arreglo factorial 5x2x2, donde los factores fueron las variedades de alfalfa (Aragón, Atlixco, San Miguel, Victoria y Oaxaca), dos frecuencias de corte (FC= severa: 4 semanas y ligera: 5 semanas) y 2 estaciones (primavera y verano), para un total de 20 tratamientos con 3 repeticiones. En el mes de marzo, se realizó un corte de uniformización y los cortes posteriores se ajustaron a la frecuencia de corte (FC), la intensidad fue a 5 cm sobre el ras del suelo.

Variables evaluadas

Rendimiento de materia seca (RMS)

Se cosecho todo el forraje contenido dentro de un cuadrado de metal de 0.25 m², el forraje fue pesado en verde empleando una báscula (Modelo B-15, marca: IBN), tomando una submuestra de 100 g que fue colocada dentro de una estufa de secado por aire forzado (modelo H-B2, marca: Riossa) a 55 °C hasta obtener un peso constante.

Rendimiento de materia seca acumulado (RMSA)

Se obtuvo de la sumatoria del RMS de todos los cortes por FC y estación del año.

Tasa de crecimiento (TC)

Fue determinada por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{RMS}/t = \text{TC}$$

Donde: RMS: rendimiento forraje (kg MS ha⁻¹)/ t: intervalo de días entre corte = tasa de crecimiento TC(kg MS ha⁻¹ d⁻¹)

Altura de la planta

Se registró la lectura de 20 plantas utilizando un flexómetro de 5 m, colocado paralelamente a la planta midiendo desde su base en el suelo hasta el dosel superior sin estirar.

Relación hoja-tallo (RH:T)

Se estimó con el peso seco de las hojas entre el peso seco de los tallos provenientes de la submuestra (100 g).

Índice de área foliar (IAF).

Se utilizó aproximadamente el 10 % del peso de la submuestra. Se determinó el área foliar de las hojas empleando el programa ImageJ[®], con los valores de la superficie de muestreo y el área foliar se estimó el IAF.

Composición morfológica y botánica (CM y CB)

Una segunda submuestra de 100 g fue separada y pesada por componentes morfológicos (hoja, tallo, inflorescencia y material muerto) y botánicos (alfalfa y malezas). Los componentes fueron colocados en bolsas de papel independientes para su posterior secado.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis factorial ANOVA y una prueba de sensibilidad de medias empleando el test de Tukey ($\alpha=0.05$). Utilizando el software estadístico SAS 9.0.

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de forraje

Los resultados de la prueba de medias y análisis factorial se muestran en el Cuadro 2, existiendo diferencias entre las variedades ($p < 0.05$), los factores frecuencia y estación tuvieron efecto sobre el rendimiento, con una frecuencia ligera ($2,156 \text{ kg MS ha}^{-1}$) y durante el verano ($2,280 \text{ kg MS ha}^{-1}$) se obtuvieron los valores más altos de MS promedio ($p > 0.05$) superando en 8 % y 22 % a la frecuencia de corte severa y la estación primavera.

Diferencias entre variedades reportan Rojas-García et al., (2017) y Álvarez-Vázquez et al., (2018) donde sobresale la variedad San Miguel como la de mayor y menor rendimiento es sus respectivos estudios. Un mayor rendimiento en verano coincide con lo reportado por Mendoza et al., (2010), Álvarez-Vázquez et al., (2018), Rojas-García et al., (2019) y Rivas et al., (2020) esta respuesta se debe a que durante estos periodos se presentan las lluvias y temperaturas cálidas que favorecen al desarrollo óptimo de la alfalfa (Teixeira et al., 2007; Quiroga, 2013; Otero & Castro, 2019).

Cuadro 2. Prueba de medias y análisis factorial para las variables de rendimiento de forraje

Factor		MS kg MS ha ⁻¹	TC kg MS ha ⁻¹ d ⁻¹	Altura cm	Relación H:T	IAF cm ²
Variedad (Var)	Aragón	2125.66 ab	67.38 a	28.30 b	0.99 a	3.29 a
	Atlixco	2113.76 ab	68.51 a	28.09 b	1.03 a	3.16 a
	San Miguel	2150.41 a	68.56 a	30.98 a	1.01 a	3.17 a
	Victoria	1873.61 b	59.96 a	25.36 c	1.00 a	3.00 a
	Oaxaca	2100.28 ab	67.19 a	28.45 b	1.04 a	3.15 a
	SE	93.81	3.03	0.71	0.02	0.10
Frecuencia (Frec)	Severa	1989.21 b	70.94 a	27.57 b	1.07 a	3.00 b
	Ligera	2156.27 a	61.70 b	28.90 a	0.96 b	3.30 a
	SE	59.33	1.91	0.45	0.01	0.06
Estación (Est)	Primavera	1865.30 b	59.96 b	28.15 a	1.05 a	3.20 a
	Verano	2280.19 a	72.67 a	28.32 a	0.98 b	3.09 a
	SE	59.33	1.91	0.45	0.01	0.06
Significancia	Variedad	*	*	**	NS	NS
	Frecuencia	**	**	**	**	**
	Estación	**	**	NS	**	NS
	Var-Frec	NS	NS	NS	NS	NS
	Var-Est	NS	NS	NS	NS	NS
	Frec-Est	NS	NS	NS	*	**
	Var-Frec-Est	NS	NS	NS	NS	NS

Medias con letras similares en cada columna no presentan diferencia estadística ($p > 0.05$); ** ($p < 0.01$); * ($p < 0.05$); NS = ($p > 0.05$); MS= materia seca, TC= tasa de crecimiento, IAF= índice de área foliar.

Una FC ligera presentó un mayor RMS, estos resultados contrastan con lo publicado por Mendoza et al., (2010) y Álvarez-Vázquez et al., (2023) quienes no encontraron diferencias entre frecuencias de 4 y 5 semanas en ambas estaciones del año; por el contrario, Gaytán et al., (2019) con cortes cada cuatro semanas registraron un mayor RMS. La frecuencia ligera permitió un mayor descanso entre cortes, favoreciendo al dosel aprovechar la temperatura y radiación presente durante ambas estaciones, presentándose plantas con mayor altura e IAF, que en conjunto favorecieron a un mejor rendimiento (Teixeira et al., 2007; Hernández et al., 2012).

La Figura 3, muestra RMSA por estación y frecuencia para cada variedad. En primavera, San Miguel ($5,944 \text{ kg MS ha}^{-1}$) superó ($p < 0.05$) en 13 y 12 % a las variedades Victoria y Oaxaca ($5,281$ y $5,258 \text{ kg MS ha}^{-1}$); para el verano, la variedad Oaxaca ($7,321 \text{ kg MS ha}^{-1}$), sobrepasó ($p < 0.05$) en 22 % a la variedad Victoria ($5,984 \text{ kg MS ha}^{-1}$). Todas las variedades presentaron mayor ($p < 0.05$) RMSA en verano. Esto indica que el rendimiento fue determinado por las condiciones del ambiente (temperatura y precipitación) y la respuesta genética de las variedades a estas condiciones (Quiroga, 2013; Luna et al., 2018). Comparando los dos esquemas de corte, la FC ligera presentó el mayor RMSA ($p < 0.05$) para cuatro variedades, siendo la variedad Victoria la de menor RMSA ($p < 0.05$) con los dos esquemas de corte. Estos resultados indican que la estación de cosecha y los días entre corte limitan el rendimiento del cultivo de alfalfa.

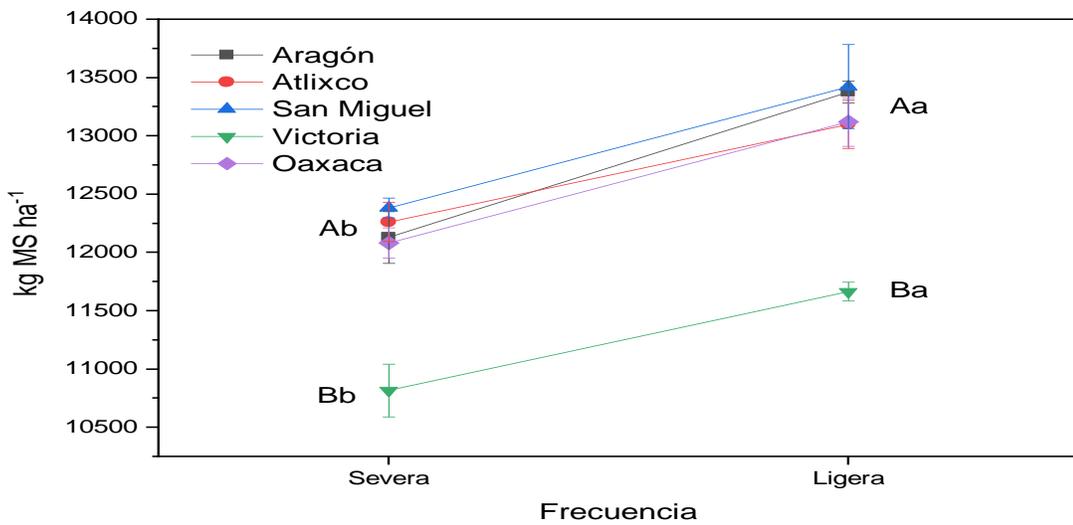
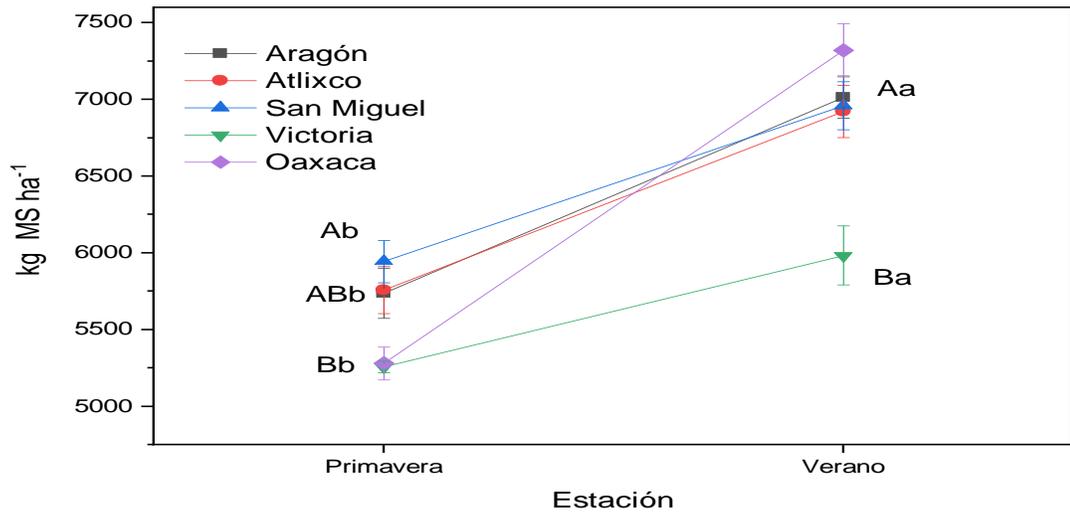


Figura 3 Rendimiento de materia seca acumulado por variedad bajo dos estaciones y distintos esquemas de corte. Medias similar letra mayúscula, no expresan diferencia estadística ($p > 0.05$) entre las variedades; medias con la misma letra minúscula, no expresan diferencia estadística ($p > 0.05$) entre frecuencias de corte.

Tasa de crecimiento

La TC, no demostró diferencia estadística ($p > 0.05$) entre variedades (Cuadro 2); bajo una FC severa la TC ($71 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) fue superior ($p < 0.05$). Por el factor estación, el verano ($73 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) evidenció una mayor TC ($p < 0.05$) con respecto a la primavera.

Los valores son superiores, con similar comportamiento estacional y por variedades con los de Otero & Castro, (2019) en Uruguay y Sánchez et al., (2019) en el altiplano Mexicano. Coincidiendo con los resultados de una mayor TC con intervalos de corte cada 4 semanas presentados por Gaytán et al., (2019) y Villegas et al., (2004). No obstante, difieren con los presentados por Rivas et al., (2020) donde reportan diferencias entre las variedades Oaxaca y San Miguel en el verano; La TC responde a la temperatura, incrementándose con temperaturas cálidas y lluvias (Quiroga, 2013; Zaka et al., 2017), como las presentadas durante el verano. Con cortes frecuentes, se estimuló el rebrote de las plantas y un mayor desarrollo de la planta (Teixeira et al., 2008; Hernández et al., 2012). Por su parte, la escasa variación entre los genotipos se debe a que todos respondieron de la misma forma a las condiciones meteorológicas y no tanto a su adaptación genética (Luna et al., 2018; Otero & Castro, 2019).

Altura

San Miguel presentó la mayor altura (31 cm) entre las variedades ($p < 0.05$) evaluadas; empleando una FC ligera, la altura (29 cm) fue superior ($p < 0.05$) para todas las variedades; no obstante, por estación no se encontraron diferencias estadísticas ($p > 0.05$). Resultados semejantes, reportan Morales et al., (2006) con variaciones en la altura de 14 variedades de alfalfa; así también, similitudes con Sánchez et al., (2019) los cuales mencionan que durante el verano las alturas fueron superiores. No obstante, diferencias con Gaytán et al., (2019) donde las plantas con mayor altura se presentaron con un corte de 4 semanas.

Las diferencias mostradas entre variedades se deben a sus características genéticas y su respuesta al ambiente (Luna et al., 2018), esta variable permite inferir en el comportamiento productivo de la variedad, debido a que el mayor RMS coincide con plantas de porte alto, con mayor masa en el tallo y una menor proporción de hoja patrón de características que coinciden con lo presentado por la variedad San Miguel (Montes et al., 2016; Sánchez et al., 2019). Con cortes frecuentes y temperaturas cálidas se estimula el recambio de tejido foliar, se incrementa la TC y por lo tanto mayores alturas (Morales et al., 2006; Gaytán et al., 2019); sin embargo, este efecto no fue observado, la altura presentada con cortes ligeros correspondió a una edad tardía en la cosecha de la planta y no por efecto de corte. Montes et al., (2016) no encontraron variación en verano por efecto de corte, pero si plantas más altas a una frecuencia de 5 semanas en primavera. Con escasa diferencia en la temperatura entre estaciones (3°C), la altura registrada se debió al estado de madurez de la planta presentada al

momento del corte y a las características genéticas de la semilla (ANOVA, Figura 2) hay evidencia de que la temperatura es el factor ambiental que mayormente influye sobre esta variable (Teixeira et al., 2008; Zaka et al., 2017).

Relación H:T

Por el factor variedad no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$); bajo un esquema de corte severo ($p < 0.05$) se evidenció una mayor proporción de hojas (1.07); así también, en primavera hubo una mayor presencia de hojas (1.05; $p < 0.05$).

Resultados parcialmente similares informan Rojas-García et al., (2017) donde no hubo variaciones entre variedades y pero si en la estación, todo bajo una frecuencia de corte de 4 semanas, es importante mencionar que los valores de la relación H:T fueron menores a los reportados en la investigación. Contrasta con lo reportado por Álvarez-Vázquez et al., (2018) donde con cortes cada 4 semanas, presentaron diferencias significativas las variedades: Atlixco, Oaxaca, San Miguel y Aragón pero sin diferencia entre estaciones. Por FC, los resultados son diferentes a los de Gaytán et al., (2019) empleando la variedad Oaxaca, no registraron diferencias estadísticas entre frecuencia de 4 y 5 semanas, sin embargo los valores de H:T fueron superiores a 2; por último Rivas et al., (2020) reportan diferencias significativas entre variedades y efecto de estación, indicando que esta variable se ve fuertemente afectada por estos dos factores. El análisis ANOVA indica que los factores FC, estación y su interacción demostraron tener significancia sobre le H:T e indirectamente en la calidad de la pradera (Mendoza et al., 2010). Valores superiores a 1, señalan una mayor

proporción de hojas, lo cual indirectamente nos indica una mayor calidad de forraje; por el contrario, una menor relación H:T se relaciona con un mayor peso del tallo lo cual disminuye la digestibilidad (Villegas et al., 2004; Montes et al., 2016; Gaytán et al., 2019).

La mayor presencia de hojas en primavera se debe a condiciones ideales de temperatura y agua (riego) lo que ocasionó un incremento en la velocidad del recambio de tejido foliar y TC (Villegas et al., 2004; Morales et al., 2006), en verano la menor proporción de hojas se asocia a una edad tardía del rebrote (Álvarez-Vázquez et al., 2018). La mayor presencia de tallo con una FC severa, se debe que el corte coincide con un mayor estado fenológico de la planta, en donde existe una menor proporción de hojas y presencia de material senescente, además los tallos presentan una mayor masa y desarrollo de sus ramas auxiliares (Luna et al., 2018).

Índice de área foliar

Por los factores variedad y estación no se mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$). Por el factor frecuencia, el corte ligero (3.3) mostró un mayor IAF ($p < 0.05$). Los resultados difieren con los reportados por Sánchez et al., (2019) donde existieron diferencias estadísticas estacionales anuales, siendo el verano la época de mayor área foliar por tallo; también en una evaluación anual Mendoza et al., (2010), reportan diferencias por estación y frecuencia de corte, siendo el verano y con cortes cada 5 semanas donde se presentó la mayor área foliar por tallo.

Al prolongar el corte cada 5 semanas se incrementó el IAF, con esto hay una mayor captura de luz por el dosel, mejora el desarrollo de los tallos, la densidad de plantas, una mayor TC y capacidad de rebrote (Villegas et al., 2004; Mendoza et al., 2010; Rivas et al., 2020).

Análisis de varianza

En el análisis se observa en el Cuadro 2, el factor frecuencia de corte demostró alta significancia sobre todas las variables de estudio, así también los factores variedad y estación para al menos tres variables; por último, la interacción frecuencia-estación demostró efecto sobre las variables relacionadas con la calidad de la pradera. Para establecer el manejo de la pradera es importante considerar la frecuencia de corte óptima por estación dentro de cada variedad, con el objetivo maximizar la calidad y rendimiento de la pradera.

Composición morfológica

La Figura 4, presenta la proporción estacional de hoja, tallo y material senescente por variedad, bajo dos frecuencias de corte. Se efectuó una prueba de medias de Tukey entre los componentes y su comportamiento por factores.

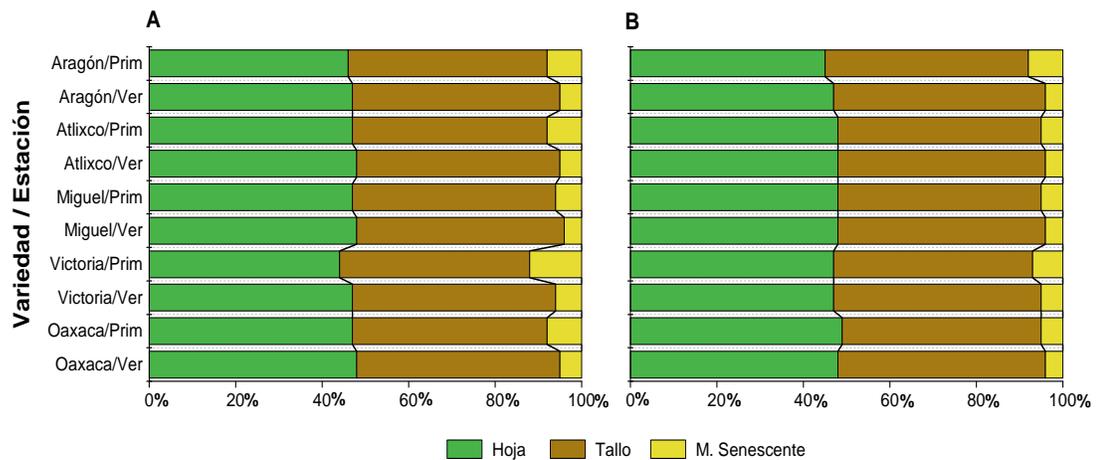


Figura 4. Variación en la composición morfológica (%) de las variedades de alfalfa. A= FC severa, B= FC ligera. Prim= primavera, Ver= verano.

Con un corte ligero (Figura 4B) el porcentaje de hoja y tallo fue mayor independientemente de la variedad y estación ($p < 0.05$), con corte severo el porcentaje de material senescente fue superior ($p < 0.05$). Por variedad, Oaxaca, Atlixco y San Miguel presentaron un mayor porcentaje de hoja promedio en ambas frecuencias y estaciones; Oaxaca y Victoria en primavera bajo un FC severa (Figura 4A) presentaron un incremento en el porcentaje de material senescente. En el porcentaje de hojas, no se detectaron diferencias estadísticas ($p > 0.05$) entre estaciones, el porcentaje del tallo fue mayor en verano ($p < 0.05$) y

el material senescente aumentó en primavera, la interacción de factores verano y FC ligera favoreció ($p < 0.05$) a un mayor porcentaje de hojas en la pradera.

El factor FC, modificó los componentes morfológicos de la alfalfa. Un mayor porcentaje de hojas, se suele encontrar con una frecuencia de cuatro semanas (Mendoza et al., 2010; Álvarez-Vázquez et al., 2018); sin embargo, los resultados generados contrastan con lo reportado, esto podrían deberse al granizo presentado una semana antes del corte en el mes de abril, este fenómeno también aumentó el material senescente en la pradera. Los cortes frecuentes estimulan los rebrotes de las yemas coronarias (Teixeira et al., 2008; Mendoza et al., 2010; Hernández et al., 2012) acelerando el recambio foliar y la aparición de tejido senescente (Villegas et al., 2004); por su parte, el granizo incidió sobre las hojas y los tallos, dañando el tejido y provocando senescencia, en donde los polifenoles y la polifenol oxidasa (PPO) se mezclan produciendo quinonas, las cuales otorgan un color pardo a las hojas y modificando con esto la absorción de luz (Furlanetto et al., 2024), durante este lapso el tejido foliar y senescente no realizaron un aporte fotosintético, por lo cual la planta sustentó el rebrote con sus reservas de la corona y raíz (Teixeira et al., 2008). Al no ser un factor limitante el agua, atribuimos a este fenómeno climático la mayor presencia de material senescente con cortes severos durante la primavera (Figura 4A) específicamente en las variedades Aragón y Victoria. Por el contrario, con una frecuencia ligera la proporción de material senescente fue menor y los porcentajes de hoja y tallo fueron más elevados para las variedades Atlixco, Oaxaca y San Miguel principalmente, viéndose reflejados estos valores en el RMS, RH:T y el IAF.

Realizar cortes cada cinco semanas, permitió a las variedades descansar y recuperarse de mejor forma al granizo, comportamiento que presentaron Oaxaca y Victoria, estadísticamente fue menor esta incidencia con un corte ligero ($p < 0.05$) en ambas estaciones. Con un mayor descanso entre cortes se mejoró la movilización del nitrógeno y carbohidratos almacenados en corona y raíz (Teixeira et al., 2008; Mendoza et al., 2010) de esta forma rebrotar de mejor forma durante la primavera. Comportamiento similar reportan Zaka et al., (2017) donde bajo condiciones de estrés, las frecuencias de corte prolongadas ayudaron a mantener la calidad y persistencia de la pradera.

No se encontraron cambios en las hojas por estación, resultados similares mencionan Rojas-García et al., (2019) con porcentajes de hoja similares en primavera y verano, siendo mayor el porcentaje de tallo en ambas estaciones; para el estudio, el tallo tuvo mayor presencia en el verano, así como en su interacción con una FC ligera, lo cual se vio reflejado en el RMS. Conforme aumentó la frecuencia el porcentaje del tallo en la CM fue mayor (Mendoza et al., 2010). La escasa variación en la temperatura entre estaciones, no afectó significativamente el desarrollo de los componentes, temperaturas cálidas permiten un desarrollo constante en los meristemas y desarrollo de los forrajes (Zaka et al., 2017), motivo por el cual probablemente no se presentaron diferencias en hoja y tallo por estación.

Composición botánica

La Figura 5, muestra los cambios estacionales en la proporción de alfalfa y arvenses por cada variedad, bajo dos frecuencias de corte distintas. Se llevó a cabo una prueba de medias de Tukey entre los componentes y su comportamiento por factores. La frecuencia de corte ligera (Figura 5B) y la estación primavera, favorecieron la persistencia de alfalfa ($p < 0.05$) y verano las arvenses ($p < 0.05$). Las variedades de alfalfa mantuvieron una persistencia promedio del 94 %, sin diferencias entre ellas ($p > 0.05$), siendo las variedades Aragón y Victoria ($p < 0.05$) mayormente susceptibles a las arvenses en el verano con una frecuencia severa (Figura 5A).

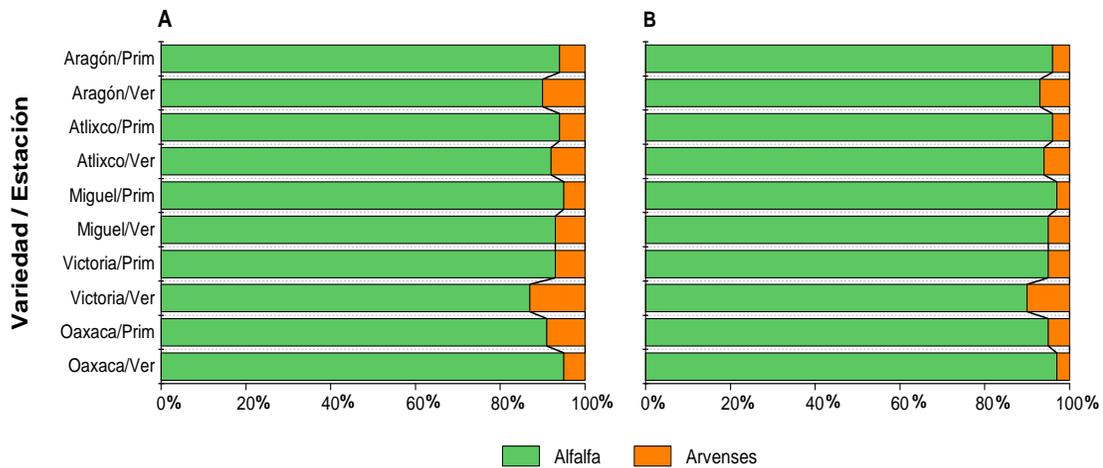


Figura 5. Variación en la composición botánica (%) de la pradera en las variedades de alfalfa. A= FC severa, B= FC ligera. Prim= primavera, Ver= verano.

Independientemente de la variedad y estación el porcentaje de alfalfa ($p < 0.05$) fue superior con una FC ligera (95 %); la variedad Victoria presentó un menor porcentaje de alfalfa ($p < 0.05$) bajo ambos esquemas de corte y en cada estación.

Montes et al., (2016) reportan que emplear frecuencias de corte de 28 y 35 días en primavera-verano favorecen la persistencia y mayor porcentaje de alfalfa en la pradera; resultados similares mencionan Rojas-García et al., (2019) con frecuencias de corte de cuatro semanas la persistencia de la alfalfa se mantuvo al 90 %, además registraron diferencias entre variedades, siendo las más susceptibles Valencia y Oaxaca con un 9 % de arvenses, esta invasión la atribuyeron a una menor densidad en las plantas. El comportamiento por estación difiere con lo reportado por Álvarez-Vázquez et al., (2018) en verano el porcentaje de alfalfa fue superior, aumentando en primavera el de arvenses en praderas de más de cuatro años de establecimiento, los valores presentados del porcentaje de alfalfa son considerablemente menores a los reportados en este estudio. Así también, los resultados difieren a lo expuesto por Mendoza et al., (2010) donde mencionan que en primavera la presencia de malezas se incrementó y se redujo la alfalfa.

La presencia de malezas o arvenses se incrementa en las estaciones cálidas donde la temperatura y precipitación favorecen su desarrollo (Mendoza et al., 2010; Montes et al., 2016; Gaytán et al., 2019), estas plantas compiten por luz, CO₂, espacio, humedad del suelo y nutrientes con la alfalfa, ocasionando una reducción directa en el rendimiento y calidad del cultivo (Kaur et al., 2018; Horvath et al., 2023). Las principales arvenses que se presentaron fueron *Sorghum*

halepense, *Cynodon nlemfuensis* e *Ipomoea spp*, incrementando su presencia en el verano, periodo que coincide con la época de lluvias y temperaturas cálidas (Figura 1); las gramíneas, presentan una mayor TC que las leguminosas, además las hojas residuales son capaces de realizar fotosíntesis y favorecer el rebrote, haciendo difícil competir a la alfalfa con estas plantas (Hernández et al., 2012). La variedad Victoria bajo ambos esquemas de corte y en verano evidenció un mayor porcentaje de arvenses, esto podría deberse a una menor densidad de plantas (Rojas-García et al., 2019), una mayor afectación por el granizo, el cual comprometió sus reservas de carbohidratos (Teixeira et al., 2008); esto en conjunto comprometió los posteriores rebrotes y la TC. Kaur et al., (2018) y Horvath et al., (2023) mencionan que las arvenses presentan una rápida capacidad de respuesta a condiciones de estrés biótico o abiótico (granizo y corte). Independientemente de las variedades, la frecuencia de corte y las condiciones climáticas determinaron la persistencia de la alfalfa en la pradera (Mendoza et al., 2010; Gaytán et al., 2019); bajo condiciones climáticas atípicas, realizar cortes cada cinco semanas permitió a la alfalfa controlar a las arvenses eficientemente, similar comportamiento reportan Hernández et al., (2012), esto también fue fomentado por ser una pradera recién establecida que mantenía una alta densidad de plantas/m², praderas con más de tres años de establecimiento y con menores densidades de plantas aumentan el porcentaje de arvenses (Álvarez-Vázquez et al., 2018; Rojas-García et al., 2019)

3.4 CONCLUSIÓN

Las variedades, San Miguel y Oaxaca demostraron un mejor comportamiento para las variables de rendimiento, composición botánica y morfológica.

Todas las variedades y las variables evaluadas demostraron un mejor comportamiento en la estación de verano; sin embargo, durante este periodo se disminuye la proporción de hojas y se incrementa la presencia de arvenses en el cultivo.

Con una frecuencia de corte ligera se promovió una mejor calidad y rebrote de la pradera y con un corte severo se incrementó el rendimiento.

La frecuencia de corte fue el factor que determinó el comportamiento de las variables evaluadas, así como la interacción con el resto de los factores determinaron en gran medida el rendimiento y proporción de los componentes morfológicos y calidad de la pradera.

3.5 REFERENCIAS

- Mendoza, P. S. I., Hernández, G. A., Pérez, P. J., Quero, C. A. R., Escalante, E. A. S., Zaragoza, R. J. L., & Ramírez, R. O. (2010). Respuesta productiva de la alfalfa a diferentes frecuencias de corte. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 1(3), 287–296
- Rojas-García, A. R., Torres-Salado, N., Joaquín-Cancino, S., Hernández-Garay, A., Maldonado-Peralta, M. de los Á., & Sánchez-Santillán, P. (2017). Componentes del rendimiento en variedades de alfalfa (*Medicago Sativa* L.). *Agrociencia*, 51(7), 697–708.
- Rivas, M. A. J., Herrera, H. J. G., Hernández-Garay, A., Vaquera, H. H., Alejos, F. J. I., & Cadena-Villegas, S. (2020). Rendimiento de cinco variedades de alfalfa durante cuatro años de evaluación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Pub. Esp.(24), 141–152. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2365>
- Villegas, A Y., Hernández, G. A., Pérez, P. J., López, C. C., Herrera, H. J. G., Enríquez, Q. J. F., & Gómez, V. A. (2004). Patrones estacionales de crecimiento de dos variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Técnica Pecuaria en México*, 42(2), 145–158.
- Luna, G. M. J., López, C. C., Hernández, G. A., Martínez, H. P. A., & Ortega, C. M. E. (2018). Evaluación del rendimiento de materia seca y sus componentes en germoplasma de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 9(3), 486–505. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i3.4440>
- Álvarez-Vázquez, P., Peña-Ramos, F. M., García-López, J. I., Hernández-Guzmán, F. J., Campo-seco-Montejo, N., Martínez-Martínez, R., & Juanes-Márquez, S. (2023). Rendimiento de forraje estacional de alfalfa a diferentes edades de rebrote en el sureste de Coahuila. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46(4A), 505–512. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.4A.505>
- Teixeira, E. I., Moot, D. J., & Brown, H. E. (2008). Defoliation frequency and season affected radiation use efficiency and dry matter partitioning to roots of lucerne (*Medicago sativa* L.) crops. *European Journal of Agronomy*, 28(2), 103–111. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.05.004>
- Hernández, G. A., Martínez, H. P. A., Zaragoza, E. J., Vaquera, H. H., Osnaya, G. F., Joaquín, T. B. M., & Velazco, Z. M. E. (2012). Caracterización del rendimiento de forraje de una pradera de alfalfa-ovillo al variar la frecuencia

- e intensidad del pastoreo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(3), 259. <https://doi.org/10.35196/rfm.2012.3.259>
- Zaka, S., Ahmed, L. Q., Escobar-Gutiérrez, A. J., Gastal, F., Julier, B., & Louarn, G. (2017). How variable are non-linear developmental responses to temperature in two perennial forage species? *Agricultural and Forest Meteorology*, 232, 433–442. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.10.004>
- Pedroza, S. A., Xolocotzi, A. S., Trejo, C. R., García, S. G., Álvarez, V. P., & Arreola, A. J. G. (2024). Índice de área foliar e indicadores de productividad forrajera de *Lotus corniculatus* L. en diferentes contenidos de humedad del suelo y estaciones del año. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 15(1), 17–31. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v15i1.6472>
- Montes, C. F. J., Castro, R., R., Aguilar, B., G., Sandoval, T., S., & Solís, O., M. M. (2016). Acumulación estacional de biomasa aérea de alfalfa Var. Oaxaca criolla (*Medicago sativa* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 7(4): 539–552. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v7i4.4281>
- Gaytán, V. J. A., Castro, R. R., Villegas, V. Y., Aguilar, B. G., Solís, O. M. M., Carrillo, R. J. C., & Negrete, S. L. O. (2019). Rendimiento de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a diferentes edades de la pradera y frecuencias de defoliación. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(2), 353–366. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i2.4319>
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (Quinta). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Cd de México, México.
- NASA (National Aeronautics and Space Administration). (2024). POWER Data Access Viewer. United States. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2023). Reporte del Clima en México: Abril 2023. Comisión Nacional del Agua, Servicio Meteorológico Nacional. México. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/diagnostico-climatico/reporte-del-clima-en-mexico>.
- Álvarez-Vázquez, P., Hernández-Garay, A., Mendoza-Pedroza, S. I., Rojas García, A. R., Wilson García, C. Y., & Alejos-de la Fuente, J. I. (2018). Producción de diez variedades de alfalfa ("*Medicago sativa* L.") a cuatro años de establecidas. *Agrociencia*, 52(6), 841–851.
- Rojas, G. A. R., Torres, S. N., Maldonado, P. M. de los Á., Herrera, P. J., Sánchez, S. P., Cruz, H. A., Mayren, M. F. de J., & Hernández, G. A. (2019). Rendimiento de forraje y sus componentes en variedades de alfalfa en el

altiplano de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(1), 239–253. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i1.4631>

- Teixeira, E. I., Moot, D. J., & Mickelbart, M. V. (2007). Seasonal patterns of root C and N reserves of lucerne crops (*Medicago sativa* L.) grown in a temperate climate were affected by defoliation regime. *European Journal of Agronomy*, 26(1), 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.08.010>
- Quiroga, H. M. G. (2013). Tasa de acumulación de materia seca de alfalfa en respuesta a variables climatológicas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(4), 503–516.
- Otero, A., & Castro, M. (2019). Variability of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Seasonal Forage Production in the Southwest of Uruguay. *Agrociencia*, 23(1). <https://doi.org/10.31285/AGRO.23.1.9>
- Sánchez, S. P., Maldonado, P. M. de los Á., Rojas, G. A. R., Torres, S. N., Herrera, P. J., Bottini, L. M. B., Wilson, G. C. Y., & Quero, C. A. R. (2019). Productividad de variedades de alfalfa en el Valle de México. *Acta Universitaria*, 29, 1–11. <https://doi.org/10.15174/au.2019.2202>
- Morales, A. J., Jiménez, V. J. L., Velasco, V. V. A., Villegas, A. Y., Enríquez, V. J. R., & Hernández, G. A. (2006). Evaluación de 14 variedades de alfalfa con fertirriego en la Mixteca de Oaxaca. *Técnica Pecuaria en México*, 44(3), 277–288.
- Furlanetto, J., Dal Ferro, N., Caceffo, D., & Morari, F. (2024). Mapping hailstorm damage on winter wheat (*Triticum aestivum* L.) using a microscale UAV hyperspectral approach. *Precision Agriculture*, 25(2), 681–703. <https://doi.org/10.1007/s11119-023-10088-8>
- Kaur, S., Kaur, R., & Chauhan, B. S. (2018). Understanding crop-weed-fertilizer-water interactions and their implications for weed management in agricultural systems. *Crop Protection*, 103, 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.09.011>
- Horvath, D. P., Clay, S. A., Swanton, C. J., Anderson, J. V., & Chao, W. S. (2023). Weed-induced crop yield loss: A new paradigm and new challenges. *Trends in Plant Science*, 28(5), 567–582. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.12.014>

CAPÍTULO IV
RENDIMIENTO Y EVALUACIÓN DE COMPONENTES ESTRUCTURALES DE
VARIETADES DE ALFALFA EMPLEANDO FTIR

YIELD AND EVALUATION OF STRUCTURAL COMPONENTS OF ALFALFA
VARIETIES USING FTIR

RESUMEN

El propósito de este estudio fue evaluar el impacto de dos frecuencias de corte combinadas con fertilización foliar orgánica en el rendimiento y valor nutritivo de las hojas de diferentes variedades de alfalfa. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con un arreglo factorial 5x3x2 donde los factores fueron: variedades, fertilización orgánica y frecuencias de corte, con un total de 30 tratamientos y 3 repeticiones. Se consideraron altura de la planta, rendimiento de materia seca y la relación H:T como variables de rendimiento y nutricionales el contenido de amidas, lignina, celulosa y hemicelulosa en hojas de alfalfa. Se efectuó un análisis factorial ANOVA y test de medias por Tukey ($\alpha=0.05$) y una correlación de Pearson para las variables de rendimiento y nutricionales. Las variedades San Miguel y Oaxaca presentaron el mejor rendimiento con 2225 y 2179 kg MS ha⁻¹; alturas de 32 y 31 cm; así como, una relación H:T de 1.10 y 1.03 respectivamente. Estas variedades junto con Victoria, evidenciaron un incrementando promedio de 38 % en el contenido de proteína principalmente con el extracto de guano de murciélago como fertilizante y cortes cada cuatro semanas. El resto de los componentes y las variedades Atlixco y Aragón no demostraron evidencia de respuesta a los tratamientos de fertilización. La altura y el RMS, celulosa, hemicelulosa y lignina mostraron correlaciones positivas, se presentó una correlación negativa entre la lignina y la relación H:T. Los intervalos entre cortes determinaron el rendimiento y la fertilización mejoró la calidad nutricional de la alfalfa.

Palabras clave: Materia seca, calidad nutricional, proteína, lignina, fertilización orgánica, FTIR

ABSTRAC

The purpose of this study was to evaluate the impact of two mowing frequencies combined with organic foliar fertilization on yield and leaf nutritive value of different alfalfa varieties. A completely randomized design was used with a 5x3x2 factorial arrangement where the factors were: varieties, organic fertilization and cutting frequencies. Plant height, dry matter yield and H:T ratio were considered as yield and nutritional variables, as well as amide, lignin, cellulose and hemicellulose content in alfalfa leaves. An ANOVA factorial analysis, Tukey means test ($\alpha=0.05$) and Pearson correlation were performed for yield and nutritional variables. The San Miguel and Oaxaca varieties presented the best yields with 2225 and 2179 kg DM ha⁻¹; heights of 32 and 31 cm; as well as, a L/S ratio of 1.10 and 1.03 respectively. These varieties together with Victoria, showed an average increase of 38 % in protein content mainly with bat guano extract as fertilizer and cuttings every four weeks. The rest of the components and the varieties Atlixco and Aragon showed no evidence of response to the fertilizer treatments. Height and DMY, cellulose, hemicellulose and lignin showed positive correlations; a negative correlation was present between lignin and L/S ratio. Inter-cutting intervals determined yield and fertilization improved alfalfa nutritional quality.

Index words: Dry matter, nutritional quality, protein, lignin, organic fertilization, FTIR.

4.1 INTRODUCCIÓN

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) se cultiva principalmente por su alto rendimiento y calidad nutricional para el ganado, colocándola como la leguminosa forrajera perenne mayormente cultivada en México ^(1,2). Sus hojas contienen altas cantidades de proteínas y sus paredes celulares son altamente digeribles, por lo cual un aumentó en la relación hoja-tallo incrementa el consumo de materia seca y digestibilidad del forraje ⁽³⁻⁵⁾. Las altas temperaturas y precipitaciones aceleran la tasa de crecimiento acortando el tiempo para alcanzar la madurez de la planta ⁽⁶⁾ en respuesta a esto se ha buscado mantener el equilibrio entre rendimiento y calidad, por lo cual se han empleado cortes de 4 a 5 semanas en México durante la primavera y verano ^(3,7,8).

La agricultura enfrenta el reto de incrementar el rendimiento de los cultivos sin ejercer impactos negativos al medio ambiente ^(9,10) una alternativa es la aplicación de fertilizantes orgánicos, estas contienen sustancias que fomentan el crecimiento y desarrollo de las plantas interviniendo en mecanismos metabólicos y de tolerancia al estrés lo cual traduce a un incrementó en el rendimiento y valor nutricional del cultivo ^(11,12), dentro de los fertilizantes orgánicos se encuentran las sustancias húmicas (SH) presentes en el extracto de guano de murciélago y los extractos de algas; ambas sustancias intervienen en procesos químicos, metabólicos y morfológicos dentro de la planta ⁽¹³⁻¹⁶⁾. La aspersion foliar en alfalfa y leguminosas ha demostrado administrar de forma rápida y eficiente nutrientes que mejoran la calidad nutricional ⁽¹⁴⁻¹⁸⁾; no obstante, existen factores que propios

del tejido foliar que determinar la eficacia del método como: la permeabilidad de la cutícula, apertura de estomas y presencia de tricomas o lenticelas ⁽¹²⁾, colocación y forma de las hojas ⁽⁵⁾ y externos como la composición química del fertilizante aplicado ⁽¹⁸⁾.

La selección de genotipos con alto rendimiento y calidad nutricional es esencial para el desarrollo de programas de manejo sustentable en los cultivos de alfalfa. La técnica de Espectroscopia de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR) permite observar las oscilaciones de los enlaces químicos y grupos funcionales de las proteínas, carbohidratos, ácidos nucleicos, lípidos y metabolitos secundarios, presentes en las plantas ⁽¹⁹⁻²¹⁾, de una forma rápida, sencilla y no destructiva con las muestras ⁽²¹⁻²³⁾ es una herramienta útil para análisis cuantitativos y cualitativos de biomoléculas ⁽²⁴⁻²⁶⁾. Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar el impacto de dos frecuencias de corte combinadas con fertilización foliar orgánica en el rendimiento y valor nutritivo de las hojas de diferentes variedades de alfalfa.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Este trabajo se desarrolló en el área agrícola del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO), Xoxocotlán, Oaxaca (17° 01' 20.40" LN y 96° 44' 51.50 "LO), a 1530 m con clima semiarido cálido con lluvias presentes en verano ⁽¹⁷⁾. El suelo presentó un pH de 7.5, C.E de 0.86, materia orgánica: 1.25 %; N estimado: 0.0621 %; fósforo: 1.23 y textura franco-arenosa. Los registros de temperatura promedio, precipitaciones, humedad relativa y velocidad del viento se presentan en el Cuadro 3, esto se obtuvieron de la base de datos POWER Data Access Viewer ⁽²⁸⁾. El área de estudio se vio afectada por los frentes fríos n° 48 y 49 presentados en el mes de abril provocaron dos fuertes granizadas.

Cuadro 3. Temperatura promedio, precipitación, humedad relativa y velocidad del viento acumulados mensualmente durante los meses del 2023.

Parámetro	Meses					
	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
T. promedio (°C)	21	21.8	21	18.4	18.5	18.2
Precipitación (mm)	12.6	37.94	119.5	109.1	200.5	59.7
Humedad relativa (%)	55	55	68	79	80	79.6
Velocidad del viento (m/s)	1.6	1.5	1.4	1.9	1.7	1.6

Establecimiento y diseño experimental

Con un porcentaje de germinación promedio para las variedades de 92 %, y considerando una densidad de 30 kg ha⁻¹ de semillas se realizó la siembra a finales de diciembre del 2022 en parcelas de 42 m² para cada una de las variedades contempladas, los riegos fueron por aspersión cada 15 días, no se aplicó fertilización mineral al suelo ni productos para el control arvenses. El estudio se implementó en los meses de abril a septiembre del 2023; se utilizó un diseño completamente aleatorizado, con arreglo factorial 5x3x2, el primer factor con cinco niveles fueron las variedades de alfalfa (Aragón, San Miguel, Oaxaca, Atlixco y Victoria), fertilización con tres niveles (Extracto de guano de murciélago, extracto de algas y agua como testigo) y frecuencias de corte (FC) con dos niveles (4 semanas y 5 semanas), para un total de 30 tratamientos con 3 repeticiones. La intensidad del corte fue de 5 cm sobre el ras del suelo. La fertilización fue vía foliar se aplicó una semana posterior al corte de ambas frecuencias, esta se realizó en un horario de 7:30 am hasta observar el punto de goteo, empleando 1 ml de fertilizante foliar por litro de agua, los productos utilizados fueron un extracto de alga (EA) y extracto de guano de murciélago (EGM), la composición química de los productos comerciales se presenta en el Cuadro 4. La evaluación nutricional de los componentes estructurales de las hojas de alfalfa se llevó a cabo en el laboratorio de Biotecnología ambiental y bioprocesos, del Centro de Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional (CIBA-IPN) unidad Tlaxcala, México.

Cuadro 4. Fertilizantes comerciales empleados y su composición química.

Fertilizante orgánico	Composición química
Xtra-ALGA (Nutripro®)	Extracto concentrado de algas <i>A. nodosum</i> con: N (1.2%), P (0.8%), K (5.6%), Ca (0.2%), Mg (0.1%), S (0.2%), Na (1.3%), aa (1.2%), B (0.1%), Fe (0.003%), Mn (0.0004%), Zn (0.0007%).
Guanobras (CEFO®)	Extracto de guano de Murciélago con: N (0.02%), P (0.01%), K (0.1%), Ca (0.12%), Mg (0.06%), S (0.01%), Na (0.07%), B (0.0003%), Fe (0.003%), Zn (0.0003%), Mn (0.0006%), Co (0.0003%) ac. Húmicos (0.0104%) y ac. Fúlvicos (8 %).
Testigo	Solo agua

Variables de rendimiento evaluadas

Rendimiento en materia seca (RMS)

Se empleó un cuadrado de metal de 0.25 m², en el que todo el forraje contenido fue cosechado y pesado en una báscula (Modelo B-15, marca: IBN). Posteriormente se tomó una submuestra de 100 g que fue colocada dentro de una estufa de secado por aire forzado (modelo H-B2, marca: Riossa) a 55 °C hasta obtener un peso constante.

Altura de la planta (AP)

Se posicionó un flexómetro paralelo a la planta, midiendo desde la base del tallo hasta el dosel superior, tomando 20 lecturas.

Relación hoja-tallo (H:T)

De la submuestra (100g) se separó el material vegetal en hojas y tallos, para someterse a secado en una estufa de aire forzado (modelo H-B2, marca: Riossa) a 55 °C hasta obtener peso constante de hojas y tallos secos. La relación se determinó al dividir las hojas entre los tallos.

Análisis nutricional empleando espectroscopia por infrarrojo (IR)

Se empleó un espectrómetro infrarrojo por transformada de Fourier (FT-IR) modelo Bruker Vertex 70v (Bremen, Alemania), equipado con un complemento de reflectancia total atenuada (ATR Platinum). Con el objetivo de observar la presencia de biomoléculas de interés en las hojas de las cinco variedades de alfalfa sometidas a los distintos tratamientos de corte y fertilización. Se utilizaron hojas deshidratadas provenientes de la relación H:T ya que es el tejido en el que se concentran la mayor proporción de proteína principalmente, las cuales se colocaron en el equipo y se realizaron las mediciones de absorbancia espectral con una resolución de 4 cm^{-1} , rango de onda de 4000 a 400 cm^{-1} y tiempo de medición para cada espectro de un minuto; antes de cada medición se realizó un análisis al background con la misma configuración con el objetivo de minimizar la influencia del ambiente. Las mediciones se realizaron por sextuplicado para cada tratamiento. Los espectros generados se procesaron utilizando el software OPUS 7.5® y Origin Pro2021®, en la Figura 6 se muestran los picos de absorbancia detectados.

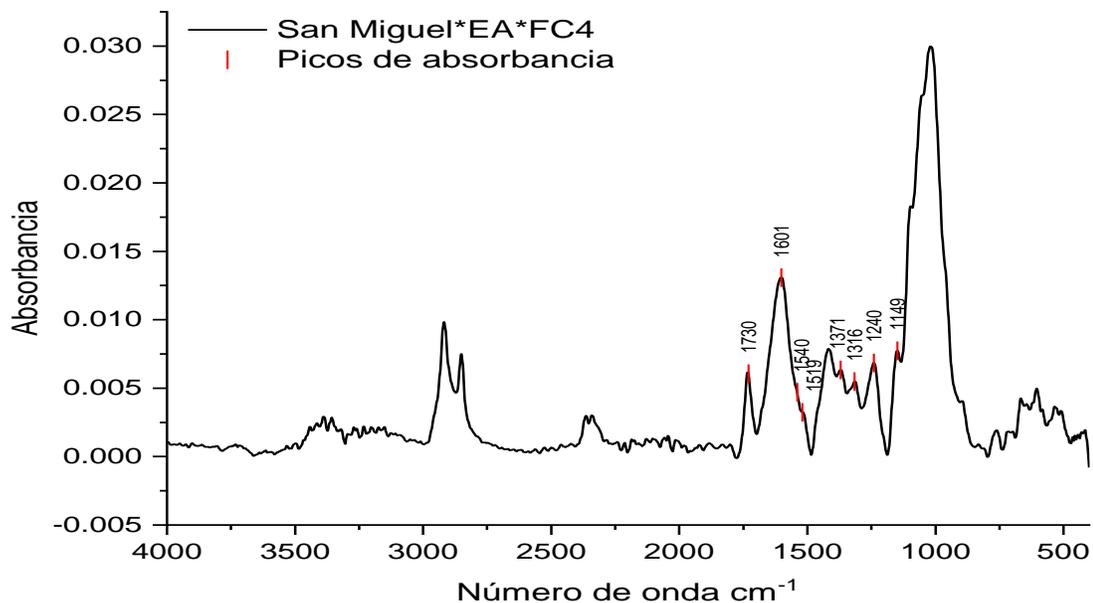


Figura 6. Esquema de espectro de onda, en el cual se localizan los principales picos de absorbancia de IR, para las biomoléculas de interés.

Análisis Estadístico

Se realizó un análisis factorial ANOVA y una prueba de sensibilidad de medias mediante la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para las variables de rendimiento y nutricionales, empleando el software estadístico SAS 9.0®.

Se realizó también un análisis de correlación de Pearson entre las variables de rendimiento y nutricionales, empleando el software estadístico OriginPro 2021®.

4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 5, muestra el ANOVA para las variables de rendimiento, los tres factores individualmente demostraron alta significancia sobre todas las variables de estudio. La interacción fertilización-frecuencia demostró solo significancia sobre relación H:T; por su parte, la interacción fertilización-variedad evidenciaron significancia sobre las variables altura, relación H:T e IAF, esto expresa que la fertilización y sus interacciones influyeron en el comportamiento de las variables de estudio.

Cuadro 5. ANOVA por factores y su interacción con el rendimiento de forraje en MS, altura y relación H:T.

Significancia	MS	Altura	Relación
	kg MS ha⁻¹	cm	H:T
Fertilización	**	**	**
Frecuencia de corte	**	**	**
Variedad	**	**	**
Fertilización-Frecuencia	NS	NS	*
Fertilización-Variedad	NS	*	*
Frecuencia-Variedad	NS	NS	NS
Fertilización-Frecuencia -Variedad	NS	NS	NS

** (p<0.01), * = (p<0.05), NS = (p>0.05); MS= materia seca, H:T= hoja:tallo.

Rendimiento de materia seca

Los resultados de la prueba de medias se muestran en el Cuadro 6, cuatro variedades no presentaron diferencia significativa ($p>0.05$) para el RMS, siendo solo la variedad victoria la de menor rendimiento ($1,925 \text{ kg MS ha}^{-1}$). La fertilización con EGM ($p<0.05$) evidenció un mayor rendimiento promedio ($2349 \text{ kg MS ha}^{-1}$), superando en 19 % al testigo y 13 % al EA. Con una frecuencia de corte de 5 semanas el rendimiento fue 9 % superior ($2,224 \text{ kg MS ha}^{-1}$) con respecto al corte de 4 semanas.

Cuadro 6. Análisis factorial y prueba de medias por Tukey para las variables de rendimiento.

Factor		MS kg MS ha ⁻¹	Altura cm	Relación H:T
Variedad	Aragón	2183 a	30 bc	1.07 ab
	San Miguel	2225 a	32 a	1.03 b
	Oaxaca	2159 a	31 ab	1.10 a
	Atlixco	2179 a	29 c	1.07 ab
	Victoria	1925 b	26 d	1.11 a
	SE	67	0.45	0.017
Fertilización	EGM	2349 a	32 a	1.09 a
	EA	2073 b	28 b	1.12 a
	Testigo	1980 b	28 b	1.01 b
	SE	52	0.35	0.013
Frecuencia	4 semanas	2044 b	28 b	1.15 a
	5 semanas	2224 a	30 a	1.00 b
	SE	42	0.28	0.010

Medias con idéntica letra en cada columna no presentan diferencia estadística ($p>0.05$). MS: Materia seca; H:hoja; T: tallo; EGM: Extracto de guano de murciélago; EA: extracto de algas.

Diferencias entre variedades han sido reportadas ^(1,2), estas discrepancias en el rendimiento se deben a la variación genética de las variedades de alfalfa ⁽⁶⁾ y su respuesta a los factores edafoclimáticos del sitio para expresar su potencial genético ⁽¹⁾. Por frecuencias de corte, los resultados son comparables a lo reportado por ⁽³⁾ quienes con la variedad San Miguel, mencionan un mayor rendimiento promedio anual con una FC de 5 semanas (3,646 kg MS ha⁻¹); no obstante, contrastan con lo reportado por ⁽⁸⁾ donde no encontraron diferencia entre frecuencias de corte de 4 y 5 semanas (2,623 y 3,466 kg MS ha⁻¹) para la variedad premium establecidas en un clima semi-árido; así también, con ⁽⁷⁾ quienes informan un mayor rendimiento acumulado con una FC de 4 semanas (6,844 kg MS ha⁻¹) empleando la variedad Oaxaca. El mayor rendimiento registrado con la FC de 5 semanas, se debe al intervalo entre cortes y a el estado fenológico de la planta ^(8,9,29).

Los resultados indicaron efectos positivos en el RMS empleando fertilización foliar, respuestas similares de las plantas de alfalfa reportan, ⁽¹⁷⁾ quienes, empleando distintas combinaciones de fertilizantes minerales, reportan que el RMS fue superior con respecto al testigo y entre tratamientos. También en alfalfa ⁽¹⁶⁾, reportan que la aplicación de ac. húmicos y reguladores de crecimiento vía foliar demostraron un mayor RMS con respecto al testigo; por su parte, ⁽¹⁴⁾ empleando ac. fúlvicos por aspersion foliar evidenció mejoras en el RMS en plantas de *Vicia faba* L. El EGM además de contener nutrientes, presenta una gran cantidad de sustancias húmicas (SH), principalmente ac. fúlvicos (AF, solubles en pH ácido y alcalino) y ac. Húmicos (AH, solubles en pH alcalino), la

primer sustancia presenta un menor peso molecular, lo cual facilita su paso a través de las membranas celulares, actuando como señalización de sustancias promotoras del crecimiento celular vegetal, mejorador del metabolismo y estado nutricional ⁽¹²⁻¹⁴⁾. Los mecanismos por medio del cual los SH promueven el crecimiento de las plantas son similares a los involucrados en aplicación radicular y foliar ^(10,13). Las SH estimulan el crecimiento de las plantas al comportarse como fuente de ácido indol acético (AIA), citoquininas (CK) y ácido giberélico (AG3) regulando el crecimiento de los brotes y raíces ^(11,12), además las SH regulan la expresión de genes que codifican sustancias transportadoras y de asimilación de nutrientes en las raíces y partes aéreas de las plantas, lo cual provoca un incremento en la biomasa verde y seca de los cultivos ⁽¹²⁾. También, tienen la capacidad de proteger a las plantas contra factores de estrés abióticos y biótico, esto mediante la síntesis de enzimas y hormonas como el ácido jasmónico y jasmonol-L-isoleucina, que indirectamente mejoran el comportamiento de los cultivos ^(10,12,13), esto indicaría la respuesta positiva y de recuperación de las plantas a las granizadas presentadas en abril del 2023 durante el periodo de estudio.

Altura

En el Cuadro 6, se observan diferencias estadísticas entre las variedades ($p < 0.05$), sobresaliendo la altura de San Miguel (32 cm) y Oaxaca (31 cm). Con el EGM (32 cm) y una FC de 5 semanas se presentaron estadísticamente alturas superiores (30 cm). Las diferencias en las alturas entre variedades, se deben a sus características genéticas y la interacción con los tratamientos de fertilización^(1,5,30), así como la respuesta de la tasa de crecimiento a las condiciones ambientales favorables (temperatura y precipitación) durante el periodo de estudio⁽⁶⁾; por el factor frecuencia, los resultados difieren a los presentados por⁽⁷⁾ quienes registraron una mayor altura (36 cm) con una FC de 4 semanas; mientras que,⁽⁸⁾ mencionan que las alturas presentadas bajo FC de 4, 5, 6 y 7 semanas fueron estadísticamente similares (46 y 52 cm). La diferencia presentada entre FC se debe a una mayor elongación de los tallos y desarrollo de las plantas alcanzado a las 5 semanas⁽⁵⁾. El factor fertilización, evidenció efecto sobre las plantas de alfalfa, los resultados aportados coinciden con lo reportado por⁽¹⁷⁾ los cuales empleando fertilización mineral foliar comercial, registraron alturas mayores a 50 cm con respecto al testigo y con diferencias entre tratamientos; así también,⁽¹⁶⁾ empleando ac. húmicos en combinación con bioestimulantes por vía foliar evidenciaron plantas de alfalfa con mayor altura (>50 cm);⁽¹⁴⁾ en *Vicia faba* L. reportan un incremento de la altura de las plantas con respecto al testigo usando ac. fúlvico por vía foliar.

Las sustancias húmicas por medio de sustancias similares al AIA contribuyen al aumento de la actividad de la enzima PMH +- ATPasa la cual está involucrada

en la absorción de nutrientes, también contribuyen a la liberación de CK, GA y óxido nítrico que en conjunto regulan los mecanismos de división, expansión, diferenciación y la elongación celular provocando un incremento en el número de entrenudos y alargamiento del tallo ⁽¹⁰⁻¹³⁾.

Relación hoja:tallo.

En el Cuadro 6, se observan las diferencias estadísticas entre variedades ($p < 0.05$) siendo Victoria (1.11) y Oaxaca (1.10) las que mejor relación H:T presentaron. Con una FC de 4 semanas ($p < 0.05$) la proporción de hojas fue superior; así también, ambos fertilizantes orgánicos demostraron efecto sobre la proporción de hoja ($p < 0.05$) con respecto al testigo. Diferencias entre variedades en la relación H:T también fueron reportadas por ⁽²⁾ con valores cercanos a 2 en praderas con dos años de establecimiento y ⁽⁵⁾ con valores menores a 1. Por su parte, ⁽³⁾ también registraron diferencias entre las FC, una mayor proporción de hojas (1.13) se presentó con intervalos de corte cada 4 semanas; por el contrario, ⁽⁸⁾ no encontró diferencias entre FC de 4 y 5 semanas (1.4); así también, ⁽⁷⁾ con valores de 2.4 y 2.3 para las mismas FC. En el estudio realizado cosechar a un intervalo de cortes cada 4 semanas permitió una mayor proporción de hojas debido el estado fenológico de la alfalfa, una mayor presencia de hojas (> 1) indica una mayor presencia de nutrientes ^(1,8,9). La mayor proporción de hojas de acuerdo al ANOVA fue favorecida por los tratamientos con fertilización y su interacción con las variedades y FC, resultados similares en alfalfa son reportados por ⁽¹⁷⁾ donde los tratamientos de aspersión foliar mejoraron la relación H:T esto con respecto al testigo, así también ⁽¹⁴⁾ reportan con ac. fúlvicos

una mayor cantidad de hojas en plantas de *Vicia faba* L. con respecto al testigo; ⁽¹⁵⁾ empleando extracto de algas de *A. nodosum* aplicados vía foliar incrementaron el número de hojas en *Vigna aconitifolia*, resultados similares con EA reportan ⁽¹⁸⁾ en *Cyamopsis tetragonoloba*. Las diferencias presentadas por las variedades las atribuimos al potencial genético de las semillas y la respuesta a la fertilización foliar ⁽¹⁾. El EGM y los EA contenían N, P, K, y Fe los cuales indican en una mayor aparición de hojas ⁽¹⁷⁾, además promueven la liberación de AIA, que incitan la liberación de CK en la raíz, ambas hormonas inciden en la división y expansión celular de los meristemas, lo que resulta en un mayor crecimiento de los brotes, el tamaño de las hojas, otro compuesto importante presente en estos extractos es la betáina la cual ha demostrado incrementar la cantidad y área foliar de las hojas ^(10,13,18), Otra actividad importante de ambos fertilizantes, es contener sustancias que contribuyen a tolerar el estrés y retrasar la senescencia en las hojas, esto al promover la producción de CK, las cuales retardan los efectos del etileno y ácido abscísico ⁽¹⁵⁾, situación que favoreció a las plantas con ambos tratamientos al fenómeno del granizo presentado durante el periodo de estudio, ya que presentaron poco material senescente y una recuperación rápida del tejido foliar.

Análisis de correlación entre variables de rendimiento y componentes estructurales de la pared celular vegetal

Los coeficientes de correlación de Pearson se observan en la Figura 7. Las correlaciones positivas más altas se presentaron entre la lignina y la hemicelulosa ($r = 0.69$), celulosa y hemicelulosa en las hojas ($r = 0.67$), altura y MS ($r = 0.66$), por último celulosa y lignina en hoja ($r = 0.61$) mientras que la correlación negativa más alta fue la RH:T y lignina en hoja $r = -0.45$).

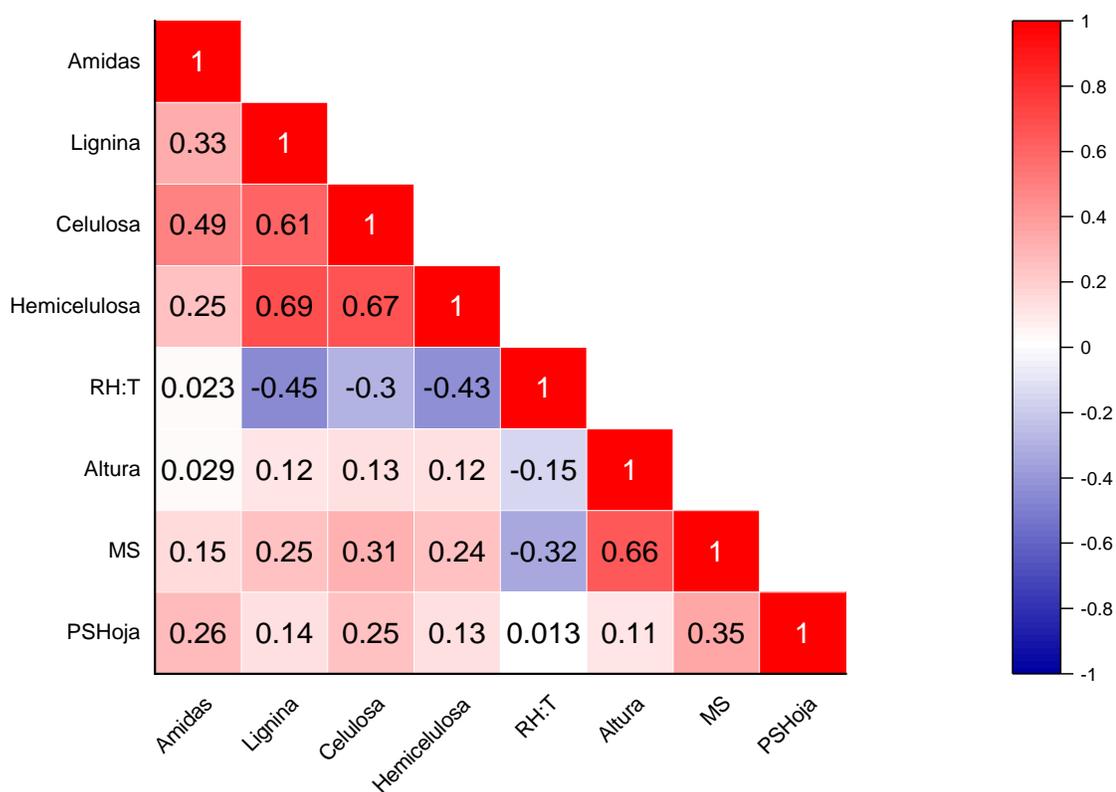


Figura 7. Correlación de Pearson, entre variables de rendimiento y nutricionales.

Las correlaciones positivas presentadas entre lignina, celulosa y hemicelulosa, se debe a que son constituyentes estructurales de la pared celular vegetal ^(4, 20,21,22,26), en conjunto conforman la porción de “fibrosa del forraje” y son determinadas regularmente por los métodos químicos como la fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente acida (FDA) ambos evalúan la digestibilidad del forraje ofrecido, la FDN determina en conjunto el contenido de hemicelulosa, celulosa y lignina; por su parte la FDA, celulosa y lignina principalmente junto a pequeñas cantidades de proteínas, ac. grasos y otros componentes. Valores elevados de forrajes FDN en rumiantes y FDA en no rumiantes indican que estos tienen poca digestibilidad, ya que contienen mayor cantidad de componentes poco digestibles como lignina y celulosa ^(4,6). Por lo tanto, el grado de digestibilidad de la alfalfa estará determinado por la proporción de la lignina (poco digestible), celulosa (medianamente digestible) y hemicelulosa (digestible), los cuales estarán fuertemente determinados por la edad y genotipo de la planta ⁽⁶⁾ es decir conforme avanza la edad de corte, se espera una mayor presencia de estos compuestos en la pared celular.

Con estas consideraciones estructurales, ^(6,21) reportan correlaciones positivas entre la FDA-FDN y la concentración de la pared celular, por lo que se demuestra que existe una estrecha relación entre estos componentes estructurales de la pared celular y la digestibilidad del forraje. Se ha documentado ampliamente la relación positiva entre la altura y la MS ^(7,9,30); sin embargo, los valores presentados fueron inferiores a los reportados por ⁽⁷⁾ en el altiplano mexicano, quienes registraron para praderas de uno a tres años con FC de 4 y 5 semanas

valores de r superiores a 0.80, esto demuestra que plantas con mayor altura y por ende peso en tallo determinan en gran medida el RMS de la pradera. La correlación negativa entre la relación H:T y lignina de la hoja, señala indirectamente el grado de digestibilidad y calidad de la pradera ^(5,17), una mayor cantidad de hojas indica una mejor digestibilidad y aprovechamiento del contenido nutricional del forraje.

Análisis nutricional

En el cuadro 7, se muestra el análisis de varianza por factores y los componentes amidas, lignina, celulosa y hemicelulosa presentes en las hojas. Todos los factores y las interacciones dobles tuvieron efectos altamente significativos sobre el contenido de amidas, similar comportamiento presentó la celulosa, excepto por el factor variedad donde no existió efecto. Lignina y hemicelulosa presentaron el mismo comportamiento, teniendo efecto altamente significativo la FC y su interacción con la variedad.

Cuadro 7. ANOVA por factores y su interacción con las variables nutricionales.

Significancia	Amidas	Lignina	Celulosa	Hemicelulosa
Fertilización	**	NS	**	NS
Frecuencia de corte	**	**	**	**
Variedad	**	NS	NS	NS
Fertilización-Frecuencia	**	NS	*	NS
Fertilización-Variedad	**	NS	**	NS
Frecuencia-Variedad	**	**	**	**
Fertilización-Frecuencia-Variedad	*	NS	**	NS

** ($p < 0.01$), * = ($p < 0.05$), NS = ($p > 0.05$).

El análisis factorial para las variables nutricionales se muestran en el Cuadro 8. Por el factor variedad, sobresale Oaxaca como la de mayor presencia de amidas y celulosa ($p < 0.05$); no obstante, también presentó una mayor presencia de lignina, la hemicelulosa no evidenció diferencia significativa ($p > 0.05$). El EGM evidenció incrementar ($p < 0.05$) la presencia de las amidas en 25 % y de celulosa en 10 % con respecto al testigo, lignina y hemicelulosa no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$); finalmente, aplicar cortes cada 4 semanas incrementó ($p < 0.05$) en un 25 % la presencia de amidas, el resto de los componentes incrementaron ($p < 0.05$) con una FC de 5 semanas.

Cuadro 8. Análisis factorial y prueba de medias por Tukey para las variables nutricionales.

Factor		Amidas	Lignina	Celulosa	Hemicelulosa
Variedad	Aragón	0.021 b	0.024 b	0.021 ab	0.018 a
	San Miguel	0.022 ab	0.025 ab	0.020 b	0.019 a
	Oaxaca	0.024 a	0.027 a	0.022 a	0.020 a
	Atlixco	0.023 ab	0.026 ab	0.021 ab	0.020 a
	Victoria	0.023 ab	0.025 ab	0.021 ab	0.019 a
	SE	0.0008	0.001	0.0007	0.0008
	Fertilización	EGM	0.025 a	0.026 a	0.022 a
EA		0.023 b	0.026 a	0.021 b	0.019 a
Testigo		0.020 c	0.025 a	0.020 b	0.019 a
SE		0.0006	0.0008	0.0005	0.0006
Frecuencia	4 semanas	0.025 a	0.020 b	0.020 b	0.016 b
	5 semanas	0.020 b	0.030 a	0.022 a	0.022 a
	SE	0.0005	0.0006	0.0004	0.0005

Medias con la misma letra en cada columna no presentan diferencia estadística ($p>0.05$). EGM: Extracto de guano de murciélago; EA: extracto de algas.

En el Cuadro 9 se observan por variedad, los efectos de fertilización y FC. La variedad Aragón, no presentó diferencias estadísticas ($p>0.05$) para el contenido de amidas; la lignina, celulosa y hemicelulosa independientemente del tratamiento, con una FC5 se presentaron los valores más altos estadísticamente ($p<0.05$).

Cuadro 9. Prueba de medias por Tukey por variedad, para las variables nutricionales y su interacción con la fertilización-frecuencias de corte.

Aragón							
	EGM		EA		Testigo		SE
	FC4	FC5	FC4	FC5	FC4	FC5	
Amidas	0.023 a	0.019 a	0.023 a	0.023 a	0.019 a	0.020 a	0.002
Lignina	0.016 c	0.031 a	0.020 bc	0.033 a	0.018 c	0.027 ab	0.002
Celulosa	0.018 b	0.025 a	0.018 b	0.025 a	0.016 b	0.021 ab	0.002
Hemicelulosa	0.013 c	0.022 a	0.016 bc	0.024 a	0.015 bc	0.020 ab	0.002
San Miguel							
Amidas	0.028 a	0.023 abc	0.024 ab	0.019 bc	0.021 bc	0.017 c	0.002
Lignina	0.022 bc	0.030 ab	0.022 bc	0.026 abc	0.021 c	0.031 a	0.003
Celulosa	0.023 a	0.021 a	0.018 a	0.020 a	0.018 a	0.019 a	0.002
Hemicelulosa	0.018 b	0.024 a	0.016 b	0.020 ab	0.017 b	0.019 ab	0.002
Oaxaca							
Amidas	0.031 a	0.020 bc	0.031 a	0.019 c	0.024 b	0.019 c	0.002
Lignina	0.025 ab	0.31 a	0.026 ab	0.030 ab	0.023 b	0.029 ab	0.002
Celulosa	0.023 ab	0.025 a	0.021 ab	0.023 ab	0.019 b	0.019 b	0.002
Hemicelulosa	0.018 a	0.022 a	0.019 a	0.022 a	0.017 a	0.020 a	0.002

Medias con la misma letra por fila no presentan diferencia estadística ($p>0.05$).
EGM: Extracto de guano de murciélago; EA: extracto de algas.

En San Miguel, las amidas incrementaron en 33 % con la FC4 y aplicación del EGM ($p < 0.05$) con respecto al testigo; el contenido de lignina y hemicelulosa fueron superiores con una FC5 ($p < 0.05$) en todos los tratamientos; la celulosa no presentó diferencias estadísticas ($p > 0.05$). En el Cuadro 10, se muestra la continuación del análisis nutricional.

Cuadro 10. Prueba de medias por Tukey por variedad, para las variables nutricionales y su interacción con la fertilización-frecuencias de corte.

Atlixco							
	EGM		EA		Testigo		SE
	FC4	FC5	FC4	FC5	FC4	FC5	
Amidas	0.022 a	0.025 a	0.021 a	0.027 a	0.021 a	0.022 a	0.002
Lignina	0.016 b	0.034 a	0.019 b	0.036 a	0.021 b	0.031 a	0.003
Celulosa	0.017 c	0.024 ab	0.016 c	0.027 a	0.018 bc	0.024 ab	0.002
Hemicelulosa	0.013 c	0.025 a	0.015 c	0.024 ab	0.017 bc	0.024 ab	0.002
Victoria							
Amidas	0.035 a	0.021 bc	0.023 bc	0.018 c	0.023 b	0.020 bc	0.002
Lignina	0.023 bc	0.029 a	0.021 c	0.028 ab	0.022 bc	0.028 ab	0.002
Celulosa	0.027 a	0.019 b	0.019 b	0.020 b	0.019 b	0.022 ab	0.002
Hemicelulosa	0.019 ab	0.023 a	0.015 b	0.020 ab	0.017 ab	0.022 a	0.002

Medias con la misma letra por fila no presentan diferencia estadística ($p > 0.05$). EGM: Extracto de guano de murciélago; EA: extracto de algas.

En la variedad Oaxaca, el contenido de amidas fue superior en un 29 % estadísticamente ($p < 0.05$) en la FC4 y con ambos tratamientos de fertilización con respecto al testigo; el contenido de lignina, fue superior para la FC5 en todos los tratamientos ($p < 0.05$); La celulosa aumentó en un 32 % con una FC5 y el EGM ($p < 0.05$), esto con respecto al testigo; la hemicelulosa no presentó diferencias relevantes ($p > 0.05$).

La variedad Atlixco, no presentó diferencias significativas en el contenido de amidas ($p > 0.05$); la concentración de lignina fue superior con una FC de 5 semanas indistintamente del tratamiento ($p < 0.05$), similar comportamiento presentó celulosa y hemicelulosa ($p < 0.05$). Por último, la variedad Victoria presentó estadísticamente ($p < 0.05$) un incremento de 52 % en el contenido de amidas con una FC4 y la aplicación de EGM con respecto al resto de los tratamientos; el contenido de lignina fue superior ($p < 0.05$) independientemente del tratamiento con una FC5. La celulosa aumentó en un 42 % con una FC4 en combinación con el EGM; finalmente, el contenido de hemicelulosa fue superior con una FC 5 para los tres tratamientos.

LA FC de 4 semanas, así como las variedades Oaxaca, Victoria y San Miguel evidenciaron una mejora significativa en la presencia de amidas estas últimas empleando como fertilizante el EGM, siendo Oaxaca la única que demostró una respuesta positiva con ambos tratamientos de fertilización. Los efectos observados de los tratamientos se deben principalmente el estado fenológico de la planta al momento del corte ^(3,7,8,29,30), las plantas jóvenes presentan una mayor cantidad de proteína y mayor digestibilidad es decir un menor contenido de

lignina, celulosa y hemicelulosa ^(3,6,9,30); adicionando el aporte nutricional de macro y micronutrientes del fertilizante ^(16,17) y la respuesta genética de las semillas ^(1,6,18), dio como resultado en conjunto un mejoramiento en el crecimiento, desarrollo, metabolismo y calidad nutricional de las plantas de alfalfa ^(14,18,30).

Resultados similares son mencionados por ⁽³⁾, con una FC de 4 semanas, en el altiplano de México, reportan un mayor % de PC en hojas de alfalfa variedad San Miguel, por su parte ⁽²⁹⁾ informan de un mayor valor él % de PC empleando una FC de 28 d, con respecto a cortes de 35 y 42 d; así también, en alfalfa ⁽⁹⁾ con intervalos de corte cada 25, registraron un mayor contenido de proteína con respecto a FC de 15, 20 y 30 d, todos estos resultados se debieron a que la cosecha se realizó en un menor estado de madurez de las plantas, ya que no se aplicó ningún tratamiento de fertilización. Se resalta, que de manera general se observan valores numéricos elevados de lignina por variedad y fertilización, esto debido a que la lignina se deposita en la matriz de hemicelulosa entrelazándose con las microfibrillas de celulosa, compartiendo enlaces y bandas de ubicación en el espectro de FTIR ^(20, 25, 26).

Con el EGM se incrementó la presencia de amidas, esto se atribuye a los grupos funcionales de las SH, los cuales son el COOH y OH estos cuentan con extremos polares y no polares, donde la parte hidrofílica tendrá una función quelatante, uniéndose con elementos minerales favoreciendo el intercambio iónico, permitiendo la absorción vía foliar y el posterior transporte de nutrientes dentro de la planta ^(11,13,14); además, estos compuestos mejoran la asimilación de NPK

por medio de la activación de enzimas como la nitrato reductasa, fosfoenolpiruvato carboxilasa-PEP case, glutamina sintetasa y glutamato sintetasa ⁽¹²⁾. Dentro de los nutrientes podemos mencionar que ambos fertilizantes tenían altos contenidos de K y Ca, los cuales regulan el gradiente de protones y la activación de la enzima PMH +- ATPasa, la cual está involucrada directamente en la absorción de nutrientes en las membranas celulares ^(10,18). La fertilización mineral vía foliar incrementa el contenido de proteína cruda en alfalfa ⁽¹⁷⁾; no obstante, también suele aumentar la FDN y FDA, efecto que no se presentó en una FC de 4 semanas, pero si se observó con una semana más entre cortes; también, ⁽¹⁴⁾ con aspersión foliar de ac. fúlvicos se mejoró el contenido de proteína de los granos con respecto al testigo en plantas de *Vicia faba* L.

Las variedades Oaxaca y Victoria evidenciaron mejoras en la presencia de celulosa con el EGM, componente parcialmente digestible y que es fuente de energía para los rumiantes ⁽⁴⁾; sin embargo, se encuentra fuertemente unido con la lignina ^(4,24). Este incremento de la celulosa, se atribuye a que las SH fomentan la producción de clorofila; por lo tanto, una mayor actividad fotosintética y una mejora en la producción de carbohidratos ^(5,14,15,18). Resultados similares entre variedades reportan ⁽⁶⁾ en alfalfa, encontrando también variaciones en la calidad del forraje entre variedades, atribuyendo estas diferencias a la variación genética de las semillas.

Estas diferencias genéticas en la alfalfa determinan la distribución de las hojas, la cual incide en la cantidad de la luz capturada y esto modifica las concentraciones de productos fotosintéticos y proteínas solubles en las hojas ⁽⁵⁾. Las diferencias en el % de PC de variedades de alfalfa, se le adjudica a la heredabilidad de genes encargados de sintetizar proteínas ^(6,30).

Las variedades Aragón y Atlixco no mostraron respuesta significativa a los efectos de los tratamientos de fertilización, evidenciando un comportamiento natural con una mayor presencia de componentes estructurales de la pared celular a las 5 semanas, esto coincide parcialmente con lo reportado por ⁽⁴⁾, donde las plantas adultas tienen una menor digestibilidad al contener una mayor presencia de lignina, celulosa, hemicelulosa y menor cantidad de proteínas; no obstante, este último compuesto presentó su mayor concentración también a las 5 semanas, lo cual indica que las variedades son de poca digestibilidad y para extraer estas proteínas requerirá de un mayor gasto energético de las bacterias ruminales para poder romper las fibras de la pared celular. Con estos resultados se confirma la relación negativa entre la madurez de la planta y la digestibilidad de un forraje ^(3,6,9,24,29,30).

Los resultados difieren con lo observado por ⁽³⁰⁾ en alfalfa, donde reportan una mayor presencia de proteínas en plantas jóvenes y son similares son reportados por ⁽¹⁰⁾ en la que aplicando fertilización foliar orgánica sobre plantas de *Cucumis sativus* no se encontró diferencias en la concentración de nutrientes en hojas, esta nula respuesta se atribuye a que no encontraron evidencia de estimulación de la enzima PMH +- ATPasa.

El incremento en las porciones de fibra (lignina, celulosa y hemicelulosa) con la aplicación del EGM principalmente en la variedad Aragón, podría deberse a la participación de las SH en la síntesis de fenilpropanoides, componente esencial para la fabricación de polímeros estructurales de las paredes celulares de las plantas ⁽¹²⁾. Otra posible causa es que la absorción de los nutrientes por las hojas y tallos fue limitada por las propias características genéticas de las variedades ^(5,16), principalmente en la permeabilidad de la cutícula a los fertilizantes foliares de las hojas y tallos ^(10,12,15).

El empleo de EA no presentó una mejora considerable en los componentes nutricionales, esto podría deberse a que el producto no contenía adyuvante, caso contrario que observamos con el EGM, la SH funcionan como quelatos de algunos microminerales (Fe, Mn, Zn, Cu, y B) favorecieron la absorción y movilidad de los nutrientes por vía foliar, estos micronutrientes participan en la activación de enzimas relacionadas con la fotosíntesis y el metabolismo del N ^(11,13,15).

4.4 CONCLUSIÓN

Las variedades San Miguel y Oaxaca, con aplicación foliar de extracto de guano de murciélago y cortes cada de 5 semanas favorecieron a un mayor, rendimiento de materia seca, altura de las plantas y calidad nutricional.

Las variaciones en los componentes nutricionales se le atribuyen principalmente al momento del corte y estado de madurez de la planta. Los resultados permiten diferenciar el cambio de los contenidos de amidas, lignina, celulosa y hemicelulosa con la edad de la planta, proporcionando información del potencial forrajero de estas variedades. Los intervalos entre cortes determinaron el rendimiento, morfología y calidad nutricional de la alfalfa.

Las correlaciones demostraron una estrecha relación positiva entre los constituyentes de la pared celular: hemicelulosa, lignina y celulosa; así también, el RMS está determinado en gran parte por la altura de las plantas; con una correlación negativa, se evidenció que el incrementó de lignina en las hojas disminuye la relación H:T.

4.5 REFERENCIAS

1. Luna GMJ, López, C. C, Hernández, G. A, Martínez, H. PA, Ortega, C. ME. Evaluación del rendimiento de materia seca y sus componentes en germoplasma de alfalfa (*Medicago sativa* L.). Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 2018;9(3):486-505. doi:<https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i3.4440>
2. Rivas JMA, Herrera, H. JG, Hernández-Garay A, Vaquera, H. H, Alejos, de la F. JI, Cadena-Villegas S. Rendimiento de cinco variedades de alfalfa durante cuatro años de evaluación. Remexca. 2020;11(Pub. Esp):141-152. doi:10.29312/remexca.v0i24.2365
3. Rojas GAR, Mendoza PSI, Maldonado PMA, et al. Rendimiento de forraje y valor nutritivo de alfalfa a diferentes intervalos de corte. Remexca. 2019;10(4):849-858. doi:10.29312/remexca.v10i4.1695
4. Bhandari KB, Rusch HL, Heuschele DJ. Alfalfa Stem Cell Wall Digestibility: Current Knowledge and Future Research Directions. Agronomy. 2023;13(12):2875. doi:10.3390/agronomy13122875
5. Fang J, Shangli S, Yun A, et al. Analysis of Phenotypic and Physiological Characteristics of Plant Height Difference in Alfalfa. Agronomy. 2023;13(7):1744. doi:<https://doi.org/10.3390/agronomy13071744>
6. Tlahig S, Neji M, Atoui A, et al. Genetic and seasonal variation in forage quality of lucerne (*Medicago sativa* L.) for resilience to climate change in arid environments. Journal of Agriculture and Food Research. 2024;15:100986. doi:10.1016/j.jafr.2024.100986
7. Gaytán VJA, Castro, R. R, Villegas, A. Y, et al. Rendimiento de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a diferentes edades de la pradera y frecuencias de defoliación. RMCP. 2019;10(2):353-366. doi:10.22319/rmcp.v10i2.4319
8. Álvarez-Vázquez P, Encina-Dominguez JA, Ventura-Rios J, Hernández-Perez A, Flores-Naveda A, Maldonado-Peralta R. Productive Performance of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) at Different Age of Resprout in the Spring Season. AP. 2021;13(12):113-118. doi:10.32854/agrop.v13i12.1898
9. Kumar A, Patel AG. Effect of date of sowing and cutting intervals on yield attribute, yield, quality and soil fertility of Lucerne [*Medicago sativa* L.] under North Gujarat agroclimatic conditions. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 2017;6(2):245-255.
10. De Hita D, Fuentes M, Fernández V, Zamarreño AM, Olaetxea M, García-Mina JM. Discriminating the Short-Term Action of Root and Foliar Application of Humic Acids on Plant Growth: Emerging Role of Jasmonic Acid. Front Plant Sci. 2020;11:493. doi:10.3389/fpls.2020.00493

11. Ampong K, Thilakaranthna MS, Gorim LY. Understanding the Role of Humic Acids on Crop Performance and Soil Health. *Front Agron.* 2022;4:848621. doi:10.3389/fagro.2022.848621
12. Telles De Moura OV, Luiz RL, De Oliveira DF, et al. Humic foliar application as sustainable technology for improving the growth, yield, and abiotic stress protection of agricultural crops. A review. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences.* 2023;22(8):493-513. doi:10.1016/j.jssas.2023.05.001
13. Shah ZH, Rehman HM, Akhtar T, et al. Humic Substances: Determining Potential Molecular Regulatory Processes in Plants. *Front Plant Sci.* 2018;9:263. doi:10.3389/fpls.2018.00263
14. Ismail AY, Fayed AAM. Response of dry seed yield of Faba bean "*Vicia faba*, L." to spraying with amino acids, organic acids, (NAA) growth regulator and micro nutrients. *Alexandria Journal of Agricultural Sciences.* 2020;65(1):7-16. doi:10.21608/alexja.2020.90850
15. Verma N, Sehrawat KD, Mundlia P, et al. Potential Use of *Ascophyllum nodosum* as a Biostimulant for Improving the Growth Performance of *Vigna aconitifolia* (Jacq.) Marechal. *Plants.* 2021;10(11):2361. doi:10.3390/plants10112361
16. Marinova D, Stoyanova S, Petrova I. Effect of Bioestimulants Foliar Application on Forage Yield in Alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Turkish Journal Of Field Crops.* 2023;28(1):7-14. doi:10.17557/tjfc.1192602
17. Dan-Dan L, Gong H, Guo-Fu L, et al. Effects of Spraying Different Foliar Fertilizers on Growth, Yield and Quality and Economic Benefit of Alfalfa. *Acta Agrestia Sinica.* 2019;27(6):1718-1724. doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2019.06.031
18. Bawya D, Srivignesh S, Krishna KR, Kumar AR. Effect of Foliar Spray of Seaweed Extract and Humic Acid on Growth and Yield of Cluster Beans [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.] var. Pusa Navbahar. LR. 2022;1:1-4. doi:10.18805/LR-4998
19. Lei Y, Hannoufa A, Christensen D, Shi H, Prates L, Yu P. Molecular Structural Changes in Alfalfa Detected by ATR-FTIR Spectroscopy in Response to Silencing of TT8 and HB12 Genes. *IJMS.* 2018;19(4):1046. doi:10.3390/ijms19041046
20. Casassa-Padrón A, Portillo E, González C. FTIR-ATR for the identification of *Psidium guajava* plants infested with *Meloidogyne enterolobii*. *RevFacAgron(LUZ).* 2022;39(3):e223937. doi:10.47280/RevFacAgron(LUZ).v39.n3.03
21. Brown CW, Harper K, Dayananda B, Gamage H, Lambrides CJ, Grof PL. Application of FTIR spectrometry for the assessment of cell wall composition and

nutritional quality of *Cenchrus* spp accessions. G. 2024;4(1):e002. doi:10.48130/grares-0023-0029

22. López-Malvar A, Santiago R, Malvar RA, et al. FTIR Screening to Elucidate Compositional Differences in Maize Recombinant Inbred Lines with Contrasting Saccharification Efficiency Yields. Agronomy. 2021;11(6):1130. doi:10.3390/agronomy11061130

23. Ji C, Zhang X, Yu P. Using non-invasive molecular spectroscopic techniques to detect unique aspects of protein Amide functional groups and chemical properties of modeled forage from different sourced-origins. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. 2016;156:151-154. doi:10.1016/j.saa.2015.11.036

24. Shi H, Lei Y, Louzada LP, Yu P. Evaluation of near-infrared (NIR) and Fourier transform mid-infrared (ATR-FT/MIR) spectroscopy techniques combined with chemometrics for the determination of crude protein and intestinal protein digestibility of wheat. Food Chemistry. 2019;272(30):507-513. doi:10.1016/j.foodchem.2018.08.075

25. Türker-Kaya S, Huck C. A Review of Mid-Infrared and Near-Infrared Imaging: Principles, Concepts and Applications in Plant Tissue Analysis. Molecules. 2017;22(1):168. doi:10.3390/molecules22010168

26. Javier-Astete R, Jimenez-Davalos J, Zolla G. Determination of hemicellulose, cellulose, holocellulose and lignin content using FTIR in *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) K. Schum. and *Guazuma crinita* Lam. PLoS ONE. 2021;16(10):e0256559. doi:10.1371/journal.pone.0256559

27. García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Quinta. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México; 2004.

28. NASA. POWER Data Access Viewer. POWER Data Access Viewer. Published March 21, 2024. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

29. Min D. Effects of Cutting Interval between Harvests on Dry Matter Yield and Nutritive Value in Alfalfa. AJPS. 2016;7(8):1226-1231. doi:10.4236/ajps.2016.78118

30. Tlahig S, Karmous I, Gorai M, Jaouadi T, Loumerem M. Effect of Cutting Time on the Performance of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Genotypes Cropped in Arid Environment. Pol J Environ Stud. 2021;30(2):1817-1829. doi:10.15244/pjoes/124757

CAPÍTULO V CONCLUSIONES GENERALES

Los resultados indican que los factores y sus interacciones provocaron distintas respuestas en las variables de rendimiento y calidad nutricional. San Miguel, Oaxaca, el EGM, la estación de verano y cortes cada de 5 semanas incidieron positivamente sobre el RMS, TC, altura, IAF y presencia de amidas en las hojas; la variedad Victoria, pese a no demostrar un buen rendimiento, presentó respuestas positivas al tratamiento de fertilización y una mayor presencia de hojas.

Las correlaciones demostraron una estrecha relación positiva entre los componentes de la pared celular: lignina, hemicelulosa y celulosa; así también, la altura a la que se cosecha la planta determina en gran parte el RMS. La lignina en las hojas y la relación H:T presentaron una correlación negativa, lo cual indica que la presencia de hojas durante la cosecha determina en gran parte la digestibilidad del forraje.

Las variedades Oaxaca, San Miguel y Victoria, evidenciaron respuestas positivas a los tratamientos utilizados, lo cual proporciona información del potencial forrajero de estas variedades para la zona de estudio

Con los resultados obtenidos, los intervalos entre cortes determinaron en gran parte el rendimiento, morfología, composición botánica y calidad nutricional de la alfalfa.

El uso del extracto de guano de murciélago, incrementó la presencia de amidas en al menos dos variedades.

CAPÍTULO VI RECOMENDACIONES

Se recomienda emplear la fertilización foliar para favorecer el crecimiento, desarrollo, rendimiento, calidad y situaciones de estrés en las plantas. Sin embargo, se requieren estudios enfocados a programas de mejoramiento genético para potencializar la calidad forrajera y nutricional de las variedades San Miguel y Oaxaca.

Así también se necesitan estudios donde se evalúen productos elaborados de forma no comercial con subproductos orgánicos de la zona, con dosis y momentos de aplicación.

CAPÍTULO VII BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- Álvarez-Vázquez, P., Peña-Ramos, F., García-López, J. I., Hernández-Guzmán, F. J., Camposeco-Montejo, N., Martínez-Martínez, R., & Juanes-Márquez, S. (2023). Rendimiento de forraje estacional de alfalfa a diferentes edades de rebrote en el sureste de Coahuila. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46(4-A), 505–512. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.4A.505>
- Ampong, K., Thilakaranthna, M. S., & Gorim, L. Y. (2022). Understanding the Role of Humic Acids on Crop Performance and Soil Health. *Frontiers in Agronomy*, 4, 848621. <https://doi.org/10.3389/fagro.2022.848621>
- Barraza-Garza, G., De la Rosa, L. A., Martínez-Martínez, A., Castillo-Michel, H., Cotte, M., & Álvarez-Parrilla, E. (2013). La microespectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIRM) en el estudio de sistemas biológicos. *Revista Latinoamericana de Química*, 41(3), 125–148.

- Basigalup, D. H. (2022). Investigación, producción e industrialización de la alfalfa en Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA, Argentina.
- Bawya, D., Srivignesh, S., Krishna, K. R., & Kumar, A. R. (2022). Effect of Foliar Spray of Seaweed Extract and Humic Acid on Growth and Yield of Cluster Beans [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.] var. Pusa Navbahar. *Legume Research - An International Journal*, 1, 1–4. <https://doi.org/10.18805/LR-4998>
- Bhandari, K. B., Rusch, H. L., & Heuschele, D. J. (2023). Alfalfa Stem Cell Wall Digestibility: Current Knowledge and Future Research Directions. *Agronomy*, 13(12), 2875. <https://doi.org/10.3390/agronomy13122875>
- Brown, C. W., Harper, K., Dayananda, B., Gamage, H., Lambrides, C. J., & Grof, P. L. (2024). Application of FTIR spectrometry for the assessment of cell wall composition and nutritional quality of *Cenchrus* spp accessions. *Grass Research*, 4(1), e002. <https://doi.org/10.48130/grares-0023-0029>
- Castro, R., Hernández, G. A., Vaquera, H. H., Hernández, G. J. P., Quero, C. A. R., Enríquez, Q. J. F., & Martínez, H. P. A. (2012). Comportamiento productivo de asociaciones de gramíneas con leguminosas en pastoreo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(1), 87. <https://doi.org/10.35196/rfm.2012.1.87>
- Cleland, J. D., Johnson, E., Morel, P. C. H., Kenyon, P. R., & Waterland, M. R. (2018). Mid-infrared reflectance spectroscopy as a tool for forage feed composition prediction. *Animal Feed Science and Technology*, 241, 102–111. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.04.022>

- Casassa-Padrón, A., Portillo, E., & González, C. (2022). FTIR-ATR for the identification of *Psidium guajava* plants infested with *Meloidogyne enterolobii*. *Revista de La Facultad de Agronomía de La Universidad Del Zulia*, 39(3), e223937. [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v39.n3.03](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v39.n3.03)
- Elbasiouny, H., El-Ramady, H., Elbehiry, F., Rajput, V. D., Minkina, T., & Mandzhieva, S. (2022). Plant Nutrition under Climate Change and Soil Carbon Sequestration. *Sustainability*, 14(2), 914. <https://doi.org/10.3390/su14020914>
- Flórez-Delgado, F. D. (2015). La alfalfa (*Medicago sativa*): Origen, manejo y producción. *CONEXAGRO JDC*, 5(1), 27–43.
- Gaytán, V. J. A., Castro, R. R., Villegas, V. Y., Aguilar, B. G., Solís, O. M. M., Carrillo, R. J. C., & Negrete, S. L. O. (2019). Rendimiento de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a diferentes edades de la pradera y frecuencias de defoliación. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(2), 353–366. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i2.4319>
- Hernández, G. A., Martínez, H., P. A., Zaragoza, E., J., Vaquera, H., H., Osnaya, G., F., Joaquín, T., B. M., & Velazco, Z., M. E. (2012). Caracterización del rendimiento de forraje de una pradera de alfalfa-ovillo al variar la frecuencia e intensidad del pastoreo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(3), 259–266. <https://doi.org/10.35196/rfm.2012.3.259>
- Hoppen, S. M., Neres, M. A., & Moot, D. (2022). Factors related to productivity and persistence of lucerne (*Medicago sativa*) genotypes with different fall

- dormancy levels: A review. *Research, Society and Development*, 11(1), e11711124473. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i1.24473>
- Javier-Astete, R., Jimenez-Davalos, J., & Zolla, G. (2021). Determination of hemicellulose, cellulose, holocellulose and lignin content using FTIR in *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) K. Schum. And *Guazuma crinita* Lam. *PLOS ONE*, 16(10), e0256559. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256559>
- Ji, C., Zhang, X., & Yu, P. (2016). Using non-invasive molecular spectroscopic techniques to detect unique aspects of protein Amide functional groups and chemical properties of modeled forage from different sourced-origins. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 156, 151–154. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2015.11.036>
- Karimou, A. H., Yadji, G., Fanna, A. G., & Idrissa, A. (2020). Effect of Different Rate of Bat Guano on Growth and Yield of Tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill) in Niamey, Niger. *Journal of Experimental Agriculture International*, 42(3), 34–46. <https://doi.org/10.9734/jeai/2020/v42i330482>
- Karunakaran, C., Vijayan, P., Stobbs, J., Bamrah, R. K., Arganosa, G., & Warkentin, T. D. (2020). High throughput nutritional profiling of pea seeds using Fourier transform mid-infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, 309(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125585>
- Kumar, M. P., Kumari, G. N., & Vadamalai, E. (2019). Bat guano: A rich source of macro and microelements essential for plant growth. *Annals of Plant and Soil Research*, 21(1), 82–86.

- Kumari, V. V., Banerjee, P., Verma, V. C., Sukumaran, S., Chandran, M. A. S., Gopinath, K. A., Venkatesh, G., Yadav, S. K., Singh, V. K., & Awasthi, N. K. (2022). Plant Nutrition: An Effective Way to Alleviate Abiotic Stress in Agricultural Crops. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(15), 8519. <https://doi.org/10.3390/ijms23158519>
- Lei, Y., Hannoufa, A., Christensen, D., Shi, H., Prates, L., & Yu, P. (2018). Molecular Structural Changes in Alfalfa Detected by ATR-FTIR Spectroscopy in Response to Silencing of TT8 and HB12 Genes. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(4), 1046. <https://doi.org/10.3390/ijms19041046>
- Lloveras, J., Delgado, I., & Chocarro, C. (2020). La alfalfa: Agronomía y utilización. Universidad de Lleida. España.
- López-Padrón, I., Martínez-González, L., Pérez-Domínguez, G., Reyes-Guerrero, Y., Núñez-Vázquez, M., & Cabrera-Rodríguez, J. A. (2020). Las algas y sus usos en la agricultura. *Una visión actualizada*. 41(2), 20.
- Luna, G. M. J., López, C., C., Hernández, G., A., Martínez, H., P. A., & Ortega, C., M. E. (2018). Evaluación del rendimiento de materia seca y sus componentes en germoplasma de alfalfa (*Medicago sativa L.*). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 9(3), 486–505. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i3.4440>
- Marwa, E. M., Andrew, T., & Hatibu, A. A. (2021). Challenges Facing Effective use of Bat Guano as Organic Fertilizer in Crop Production: A Review. *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*, 8(8). <https://doi.org/10.31873/IJEAS.8.8.01>

- Mendoza, P. S. I., Cadena-Villegas, S., Hernández Garay, A., Vaquera Huerta, H., Villareal-González, J. A., & Flores-Santiago, E. J. (2018). Cambios en la frecuencia de defoliación para recuperar la densidad de plantas en una pradera de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Agroproductividad*, 11(5), 51–55.
- Montes, C. F. J., Castro, R., R., Aguilar, B., G., Sandoval, T., S., & Solís, O., M. M. (2016). Acumulación estacional de biomasa aérea de alfalfa Var. Oaxaca criolla (*Medicago sativa* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 7(4), 539–552. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v7i4.4281>
- Niu, J., Liu, C., Huang, M., Liu, K., & Yan, D. (2021). Effects of Foliar Fertilization: A Review of Current Status and Future Perspectives. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(1), 104–118. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00346-3>
- Rivas, J. M. A., Herrera, H., J. G., Hernández-Garay, A., Vaquera, H., H., Alejos, de la F., J. I., & Cadena-Villegas, S. (2020). Rendimiento de cinco variedades de alfalfa durante cuatro años de evaluación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(Pub. Esp), 141–152. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2365>
- Robe, K., & Barberon, M. (2023). Nutrient carriers at the heart of plant nutrition and sensing. *Current Opinion in Plant Biology*, 74, 102376. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2023.102376>
- Rojas, G. A. R., Torres, S., N., Maldonado, P., M. A., Herrera, P., J., Sánchez, P., Cruz, H., A., Mayren, M., F. J., & Hernández, G., A. (2019). Rendimiento de forraje y sus componentes en variedades de alfalfa en el altiplano de

- México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(1), 239–253.
<https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i1.4631>
- Sakoui, S., Derdak, R., Addoum, B., Serrano-Delgado, A., Soukri, A., & El Khalfi, B. (2020). The Life Hidden Inside Caves: Ecological and Economic Importance of Bat Guano. *International Journal of Ecology*, 2020, 1–7.
<https://doi.org/10.1155/2020/9872532>
- Sánchez, S. P., Maldonado, P., M. A., Rojas, G., A. R., Torres, S., N., Herrera, P., J., Bottini Luzardo, M. B., Wilson García, C. Y., & Quero Carrillo, A. R. (2019). Productividad de variedades de alfalfa en el Valle de México. *Acta Universitaria*, 29, 1–11. <https://doi.org/10.15174/au.2019.2202>
- Santiago-Kent, F. (2019). Forrajeras cultivadas anuales y perennes más difundidas en la provincia de La Pampa. En Forrajeras cultivadas anuales y perennes más difundidas en la provincia de La pampa (p. 70). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA. Argentina.
- Shah, Z. H., Rehman, H. M., Akhtar, T., Alsamadany, H., Hamooh, B. T., Mujtaba, T., Daur, I., Al Zahrani, Y., Alzahrani, H. A. S., Ali, S., Yang, S. H., & Chung, G. (2018). Humic Substances: Determining Potential Molecular Regulatory Processes in Plants. *Frontiers in Plant Science*, 9, 263.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00263>
- Shi, H., Lei, Y., Louzada, L. P., & Yu, P. (2019). Evaluation of near-infrared (NIR) and Fourier transform mid-infrared (ATR-FT/MIR) spectroscopy techniques combined with chemometrics for the determination of crude protein and intestinal protein digestibility of wheat. *Food Chemistry*, 272(30), 507–513.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.075>

- Soares, J. C., Santos, C. S., Carvalho, S. M. P., Pintado, M. M., & Vasconcelos, M. W. (2019). Preserving the nutritional quality of crop plants under a changing climate: Importance and strategies. *Plant and Soil*, 443(1–2), 1–26. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04229-0>
- Teixeira, E. I., Moot, D. J., & Mickelbart, M. V. (2007). Seasonal patterns of root C and N reserves of lucerne crops (*Medicago sativa* L.) grown in a temperate climate were affected by defoliation regime. *European Journal of Agronomy*, 26(1), 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.08.010>
- Telles De Moura, O. V., Luiz, R. L., De Oliveira, D. F., Oliveira Da Silva, H. F., Augusto Van Tol De Castro, T. A., Huertas, O. C., Fernandes, N., Zonta, E., Azevedo, L., & Calderín, A. (2023). Humic foliar application as sustainable technology for improving the growth, yield, and abiotic stress protection of agricultural crops. A review. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 22(8), 493–513. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2023.05.001>
- Tlahig, S., Neji, M., Atoui, A., Seddik, M., Dbara, M., Yahia, H., Nagaz, K., Najari, S., Khorchani, T., & Loumerem, M. (2024). Genetic and seasonal variation in forage quality of lucerne (*Medicago sativa* L.) for resilience to climate change in arid environments. *Journal of Agriculture and Food Research*, 15, 100986. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.100986>
- Toor, M. D. (2021). Nutrients and Their Importance in Agriculture Crop Production: A Review. *Indian Journal of Pure & Applied Biosciences*, 9(1), 1–6. <https://doi.org/10.18782/2582-2845.8527>

- Türker-Kaya, S., & Huck, C. (2017). A Review of Mid-Infrared and Near-Infrared Imaging: Principles, Concepts and Applications in Plant Tissue Analysis. *Molecules*, 22(1), 168. <https://doi.org/10.3390/molecules22010168>
- Verma, N., Sehrawat, K. D., Mundlia, P., Sehrawat, A. R., Choudhary, R., Rajput, V. D., Minkina, T., Van Hullebusch, E. D., Siddiqui, M. H., & Alamri, S. (2021). Potential Use of *Ascophyllum nodosum* as a Biostimulant for Improving the Growth Performance of *Vigna aconitifolia* (Jacq.) Marechal. *Plants*, 10(11), 2361. <https://doi.org/10.3390/plants10112361>
- Villegas-Aparicio, Y., Hernández-Garay, A., Martínez-Hernández, P. A., Pérez-Pérez, J., Herrera-Haro, J. G., & López-Castañeda, C. (2006). Rendimiento de forraje de variedades de alfalfa en dos calendarios de corte. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(4), 369. <https://doi.org/10.35196/rfm.2006.4.369>
- Yzarra, T. W. J. & López, R. F. M. (2017). Manual de observaciones fenológicas. Ministerio de Agricultura y Ambiente. Perú.
- Zaka, S., Ahmed, L. Q., Escobar-Gutiérrez, A. J., Gastal, F., Julier, B., & Louarn, G. (2017). How variable are non-linear developmental responses to temperature in two perennial forage species? *Agricultural and Forest Meteorology*, 232, 433–442. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.10.004>